UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO LIGERO PARA MOVILIDAD URBANA E INTERURBANA

Memoria y Anexos

Autores: Ferran Caballo Resina
Raúl Cabero Serralvo
Director: Jose Ramón González Drigo

Convocatoria: junio 2019

Resum

En el projecte que es presenta a continuació es realitza el disseny i l'anàlisi d'un vehicle elèctric lleuger i de petites dimensions, destinat principalment a un us urbà i interurbà. L'objectiu principal del projecte és dissenyar aquest vehicle a mode de prototip amb unes característiques molt concretes, tals com simplicitat, lleugeresa i baix cost, les quals li permetran una diferenciació clara amb respecte la resta de vehicles del seu segment.

En primer lloc, es realitza un estudi de viabilitat sobre la normativa europea que s'aplicarà properament en matèria d'energia, ja que afectarà de manera directa al vehicle que es desenvolupa. Per una altra part, també es fa un estudi de camp per a conèixer la mitjana d'ocupants que circulen als vehicles d'una gran ciutat, per a obtenir una idea de les dimensions i el número d'ocupants que disposarà el prototip en qüestió.

La part principal del projecte tracta sobre el disseny i simulació del xassís del vehicle i també l'anàlisi i posterior elecció dels components que el formaran, tals com el motor o la bateria, regint-se per unes premisses molt concretes i explorant tot el ventall de possibilitats.

Per últim, es realitza un anàlisi de l'impacte ambiental del vehicle així com un estudi pressupostari del projecte.

Resumen

En el proyecto que se presenta a continuación se realiza el diseño y el análisis de un vehículo eléctrico ligero y de pequeñas dimensiones, destinado principalmente a un uso urbano e interurbano. El objetivo principal del proyecto es diseñar dicho vehículo a modo de prototipo con unas características muy concretas, tales como simplicidad, ligereza y bajo coste, las cuales le permitirán una diferenciación clara con respecto a los demás vehículos de su segmento.

En primer lugar, se realiza un estudio de viabilidad sobre la normativa europea que se aplicará próximamente en materia de energía, ya que afectará de manera directa al vehículo que se desarrolla. Por otra parte, también se hace un estudio de campo para conocer el promedio de ocupantes que circulan en los vehículos de una gran ciudad, para obtener una idea de las dimensiones y número de ocupantes que dispondrá el prototipo en cuestión.

La parte principal del proyecto trata sobre el diseño y simulación del chasis del vehículo y también el análisis y posterior elección de los componentes que lo formaran, tales como el motor o la batería, rigiéndose por unas premisas muy concretas y explorando todo el abanico de posibilidades.

Por último, se realiza un análisis del impacto ambiental del vehículo, así como un estudio presupuestario del proyecto.

Abstract

In the following project, a carry out of the design and analysis of a light and small electric vehicle, mainly intended for urban and interurban use is done. The main objective of the project is to design this vehicle as a prototype with very specific characteristics, such as simplicity, lightness and low cost, which will allow a clear differentiation with respect to the other vehicles in its segment.

First of all, a study is made about the European regulations that will be applied soon in the matter of energy, since it will affect directly the vehicle that is developed. On the other hand, a fieldwork is also done to know the average number of occupants that circulate in the vehicles of a big city, to obtain an idea of the dimensions and number of occupants that will have the prototype in question.

The main part of the project is about the design and simulation of the vehicle's chassis and also the analysis and subsequent selection of the components that will form it, such as the engine or the battery, exploring a full range of possibilities and following a very specific postulate.

Finally, an analysis of the environmental impact of the vehicle is made, as well as a budget study of the project.

Agradecimientos

En primera instancia, agradecer a nuestros padres todo el apoyo y ánimos que nos han dado durante la realización de este proyecto y también durante todo el grado. Es gracias a ellos que hemos llegado hasta aquí.

A nuestro tutor, Jose Ramón González Drigo por su inestimable ayuda y consejos durante la realización del proyecto, siempre aportando ideas frescas y largas charlas en el despacho. Gracias por acogernos.

Por último, al profesor Esteban Ribas Moreu, por sus indicaciones y consejos en el ámbito de la simulación estructural, siempre dispuesto a ayudar desinteresadamente.

Glosario

I+D+I: Investigación, desarrollo e innovación.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

CE: Comunidad Europea.

DGT: Dirección General de Tráfico.

REE: Red Eléctrica Española.

CORES: Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos.

TIG: Tungsten Inert Gas

MIG: Metallelektrode Inert Gas

CAD: Computer Aided Design.

Orden de marcha: Estado del vehículo en el cual se encuentra estático y con su peso en vacío más el del conductor.

OEM: Original Manufacturer Equipment

ETRTO: European Tire and Rim Technical Organization.

TARA: Característica de los vehículos correspondiente a su peso en vacío en orden de marcha.

MMA: Masa Máxima Autorizada.

Índice de contenido

Índice de figuras

Índice de tablas

1. Prefacio

1.1. Origen del trabajo

Este proyecto nace de la atracción por el mundo del automovilismo por parte de los estudiantes que lo realizan. Dichos estudiantes tenian claro que el tema que querian desarrollar en su proyecto de fin de grado estaría relacionado con algún aspecto perteneciente al automóvil. Inicialmente se discutió sobre si se centrarían solamente en el estudio de una parte en concreto o darían un enfoque más general de todas las áreas de un vehículo, y tras hablarlo con el tutor del proyecto, se decidió que sería más atractivo hablar sobre la totalidad del mismo y además que éste fuera de propulsión eléctrica, como proyección para un futuro sostenible y libre de combustibles fósiles en el transporte.

1.2. Motivación

La tendencia en el mundo del automóvil es cada vez más clara y va enfocada hacia la electrificación del grupo propulsor que empuja cualquier vehículo, ya sea mediante la energía procedente de baterías de iones, o más a largo plazo, de pilas de hidrógeno. Una de las motivaciones principales para realizar el proyecto sobre un automóvil fue que éste fuera eléctrico, ya que se quería seguir con la tendencia futura y realizar un producto lo más sostenible posible a lo largo de su vida útil, además de profundizar en la construcción y funcionamiento de vehículos con este tipo de motorización.

Cada vez más, las ciudades se colapsan por la cantidad de vehículos que circulan por ella, ya sea por un propio aumento de la población, por una incorrecta adecuación de los servicios de transporte público o por el ritmo vertiginoso que tiene la sociedad actual, queriendo reducir el tiempo de los desplazamientos al máximo, lo que resulta en el efecto contrario si la ciudad no está preparada para tal cantidad de vehículos. Es por esto que la principal motivación de este proyecto vino a partir del resultado obtenido en un estudio de campo realizado en Barcelona, el cual estaba destinado a conocer cuántos ocupantes había en los vehículos que por allí circulaban y se optó por diseñar un vehículo biplaza de pequeñas dimensiones, para facilitar la conducción en este tipo de entornos y maximizar su autonomía eléctrica.

Por último, una de las reticencias a la hora de comprar un vehículo eléctrico es su coste comparado con un vehículo convencional del mismo segmento, siendo los primeros más caros debido al elevado coste de fabricación de ciertos componentes, como la batería, y la inversión realizada en I+D para lograr mayores innovaciones tecnológicas, con el objetivo de conseguir mayor vida útil, más velocidad de recarga o mayor densidad de potencia respecto a la propia batería, lo que repercute directamente en la autonomía del vehículo. Es por esto que otra de las motivaciones principales del proyecto fue intentar reducir al máximo el coste del vehículo diseñado, para hacerlo más accesible, facilitar su compra y obtener una diferenciación con respecto a los otros vehículos eléctricos de su segmento.

2. Introducción

2.1. Objetivos del trabajo

Principalmente, el objetivo general de este proyecto es el diseño de un prototipo de vehículo eléctrico ligero y de pequeñas dimensiones destinado al uso en entornos urbanos e interurbanos, mediante el diseño y simulación de su chasis y el análisis del resto de sus componentes principales, tales como el motor o la batería. Por otra parte, con la realización de este proyecto también se pretende lograr la consecución de varios objetivos específicos, los cuales se enumeran a continuación:

- Analizar la viabilidad a largo plazo de las directrices impuestas en materia de energía al sector automovilístico por la Unión Europea, a raíz del Acuerdo de París (2015).
- Realizar un estudio de campo para conocer el número de ocupantes que van en los vehículos de una gran ciudad y así justificar la elección de las plazas disponibles del prototipo.
- Adquirir conocimientos y profundizar en los diferentes componentes específicos de un vehículo eléctrico.
- Poder conocer con más detalle los componentes que forman cualquier vehículo mediante la comparación y posterior elección de los mismos para nuestro prototipo.
- Reducir al máximo el coste del prototipo, mediante la sencillez de su construcción y la idónea elección de sus componentes dado el uso al cual va destinado.
- Ampliar los conocimientos adquiridos durante el grado en el uso de *software* CAD y de simulación, como son SolidWorks y ANSYS, respectivamente.
- Potenciar el aprendizaje autónomo y la capacidad de organización, tanto para la realización del proyecto como para la interacción entre los autores.

La obtención de estos objetivos, dejando de lado el diseño y simulación del chasis, ha sido fruto de la investigación de cada componente, la exposición de cada una de sus variantes y posteriormente, la realización de una comparación entre todas ellas para finalizar con la elección de la más adecuada para el prototipo. Todo ello teniendo en cuenta las características deseadas del mismo y la compatibilidad entre los diferentes componentes.

2.2. Alcance del trabajo

El proyecto en cuestión se inició pensando en el diseño de un prototipo de vehículo eléctrico que se adaptara a las necesidades de las personas en el día a día. Quedó claro desde un principio que esta sería una primera versión del prototipo y que más adelante se debería seguir con el proceso de creación de una carrocería que recubra el chasis, haciendo un buen estudio aerodinámico que redujera los consumos del mismo y tuviera en cuenta todas las homologaciones necesarias en este tipo de vehículos.

Este proyecto ha requerido a sus dos autores de una completa inmersión, tanto en el ámbito de la propulsión eléctrica, incluyendo baterías y grupo propulsor con toda su electrónica asociada, como tanto en el diseño y simulación del chasis y los demás componentes necesarios, tales como suspensiones, ruedas, frenos, etc.

El resultado final, objeto de todo el trabajo dedicado a la construcción del prototipo se muestra durante el proyecto, juntamente con los análisis necesarios y estudios que nos han hecho tomar las decisiones y seguir una tendencia distinta a la de los coches actuales, creando lo que puede ser un coche eléctrico revolucionario gracias, sobre todo, a los dos factores que destacan de este vehículo, su novedoso grupo motopropulsor y su bajo peso.

3. Estudio de viabilidad energética

3.1. Introducción

A raíz de la reciente publicación del borrador de la "Ley de Cambio Climático y Transición Energética" por parte del Gobierno de España, en la que se recogen varias medidas que tienen como principal objetivo la descarbonización de la economía española, incluso estableciendo fechas límite para ello, se ha creído conveniente hacer un pequeño estudio de viabilidad sobre si este objetivo puede ser viable, ya que esta norma está relacionada indirectamente con el tema de este proyecto.

La electrificación total del parque de vehículos obligará a las grandes marcas de estos a hacer inversiones verdaderamente importantes en I+D+I para mejorar sus vehículos 100% eléctricos ya existentes y hacerlos más accesibles económicamente para el público en general.

En la misma línea, la Unión Europea también se plantea crear varias normas, que tendrán mucha semejanza con la ley española, para combatir el uso de combustibles fósiles y detener así la emisión masiva de gases de efecto invernadero (GEI) tal y como se estableció en el Acuerdo de París (2015), ratificado por la UE.

3.2. Ley de Cambio Climático y Transición Energética

La Ley de Cambio Climático y Transición Energética es solamente un borrador realizado por el Gobierno de España para asumir las directrices impuestas desde la Unión Europea para cumplir con los objetivos establecidos en el Acuerdo de París. Las medidas más importantes que dicta esta ley son las siguientes:

- Quedará prohibida la venta de turismos y vehículos comerciales que utilicen un motor de combustión interna, ya sea diésel, gasolina o híbrido a partir del año 2040.

- La circulación de vehículos que utilicen un motor de combustión interna, aunque éste sirva de apoyo a uno eléctrico, quedará prohibida a partir del año 2050.

- Se establecerán zonas de bajas emisiones en todos los municipios que cuenten con más de 50.000 habitantes, hasta 2023 como fecha límite.

- Se analizará la introducción de la Euroviñeta, que es una norma que aplica gravámenes a los vehículos pesados de transporte de mercancías por el uso de determinadas infraestructuras.

- Se obligará a las instalaciones de suministro de combustibles y carburantes a colocar puntos de recarga eléctrica, en distintos plazos en función de su volumen de ventas.

Las dos primeras medidas son las que han creado más controversia en diferentes sectores, entre ellos el automovilístico y por ende son las que analizaremos en profundidad y haremos un estudio de viabilidad sobre ellas, ya que se cree que los plazos establecidos son inviables para llevar a cabo la renovación total del parque de vehículos.

No obstante, en el borrador del Gobierno de España se ponen ejemplos de otros países con plazos muy similares, como son Reino Unido o Francia, donde se prohibirá también la venta de vehículos de combustión interna en 2040. Otros países van más allá, como Dinamarca, Alemania, Holanda o Irlanda, que rebajan la fecha límite a 2030.

Figura 1. *Cartel de presentación del Acuerdo de París (Fuente: ONU)*

3.3. Acción por el Clima: las normas de la Unión Europea

En la Unión Europea también se plantea establecer una serie de normas para regular la venta de vehículos con motor de combustión interna y ya ha lanzado varias propuestas sobre ello, como poner el 2050 como fecha límite para un futuro cero emisiones en lo que se refiere a vehículos, tal y como el proyecto de ley española.

El conjunto de medidas que establece la Comisión Europea se denomina "Acción por el Clima" y entre otros, estas directrices tienen por objetivos el cumplimiento de la reducción en un 80-95% (respecto a los niveles de 1990) de las emisiones de gases de efecto invernadero, que al menos un 27% del consumo total de energía sea procedente de energías renovables y por último, que la eficiencia energética experimente un incremento de cómo mínimo el 27%, para 2030 y 2050 respectivamente.

La Comunidad Europea prevé distintos escenarios para el 2050, algunos de los cuales se recogen en la siguiente figura:

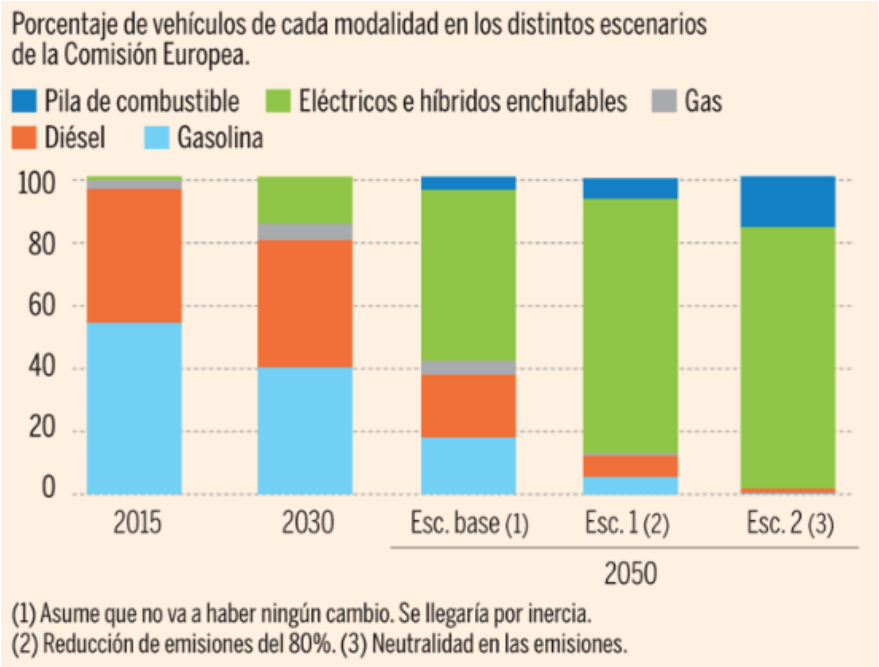


***Figura 2**. Porcentaje de vehículos en distintos escenarios de la CE. (Fuente: Expansión)*

Como podemos observar, sea cual sea el escenario previsto por la CE en 2050, el porcentaje de vehículos diésel o gasolina en la fecha mencionada es mucho menor en comparación con los vehículos eléctricos o de pila de combustible, incluso en el escenario 1, en el cual no se tiene en cuenta ninguna medida a imponer en el sector automovilístico. No obstante, en el escenario 3, el más optimista en cuanto a emisiones, existe aún un 4% de vehículos de combustión interna, que aunque sea minúsculo no es lo que los borradores de leyes actuales dictan ya que estos quieren eliminar por completo el uso de los vehículos anteriormente mencionados en la fecha prevista.

3.4. Generación eléctrica

Para poder estudiar la viabilidad de esta ley primero tenemos que conocer los datos de generación y compra-venta de electricidad del estado español, para saber las fuentes de producción y el total de energía producida. A continuación, se detallan unos gráficos realizados a partir de datos extraídos de Red Eléctrica Española (REE) del 2018:

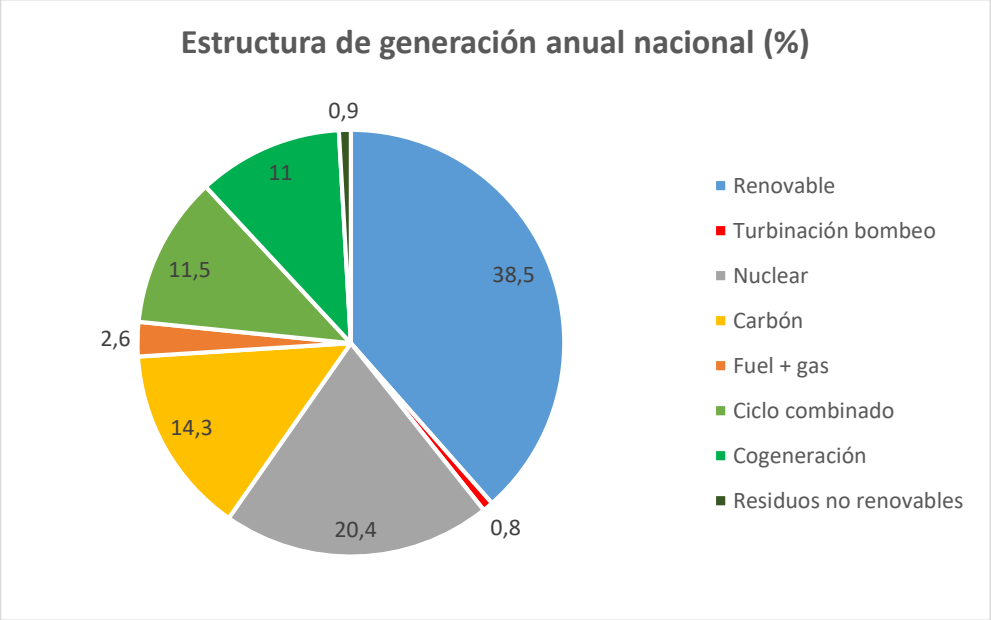


Figura 3. *Figura de generación eléctrica anual nacional. (Fuente: REE)*

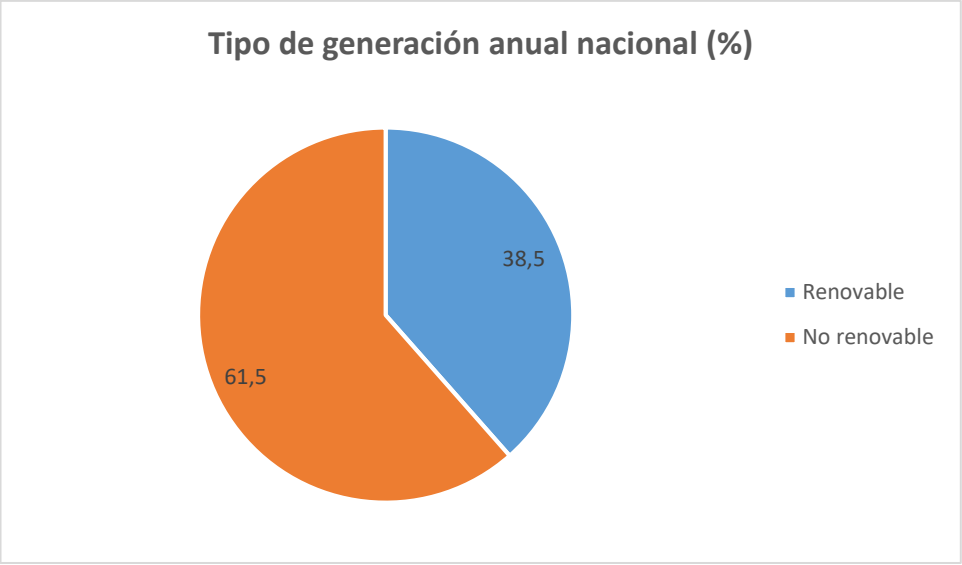


***Figura 4**. Tipo de generación eléctrica anual nacional. (Fuente: REE)*

En la figura 3 se encuentra la media anual de los porcentajes de los diferentes tipos de fuentes de producción de electricidad en el estado español. Como se puede ver, solamente un 38,5% de esas fuentes son renovables, siendo el porcentaje restante fuentes no renovables, tal y como indica la figura 4.

Se observa que el mayor porcentaje de producción eléctrica proviene de centrales nucleares (20,4%), pese al deseo que haya un apagón nuclear en España a partir del 2036, seguido de centrales termoeléctricas de carbón (14,3%), generadoras de humos con monóxido y dióxido de carbono y dióxido de azufre, muy perjudiciales para la atmósfera. Por último, en tercer lugar y con un porcentaje similar a las centrales de carbón se sitúan las centrales de ciclo combinado (11,5%), que aunque utilizan un combustible fósil como el gas natural para su producción, son más limpias que las anteriores.

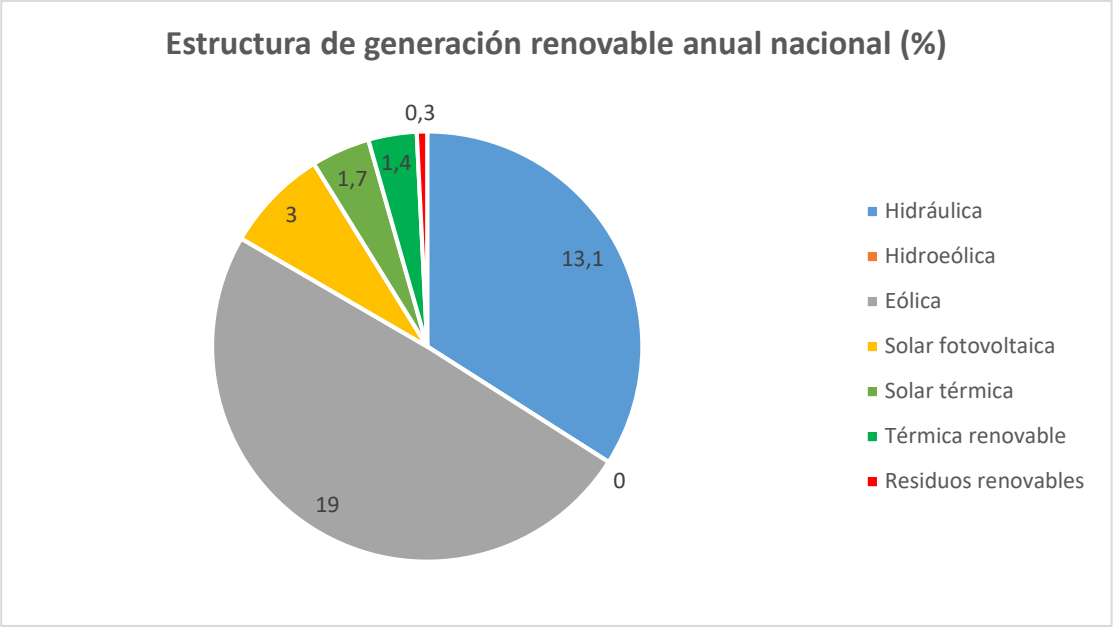


Figura 5. *Estructura de generación eléctrica renovable anual nacional. (Fuente: REE)*

Para acabar con el análisis de las fuentes de producción de electricidad españolas, en la figura 5 encontramos un desglose de ese 38,5% de producción con energía renovable. Dentro de este porcentaje destacan la producción eólica (19%), donde se espera que para 2020 el porcentaje aumente hasta el 25%, según la Asociación Empresarial Eólica (AEE), seguida de la hidráulica (13,1%), que, aunque se ve superada por la eólica es una fuente muy madura y consolidada en el país, con grandes centrales hidroeléctricas repartidas por todo el territorio.

Por otra parte, como se observa en el anexo B6, España realiza intercambios internacionales físicos de electricidad con sus países vecinos, como Francia, Portugal o Marruecos. En 2018 hubo una entrada de 24.018 GWh procedente de estos países y hubo una salida de 12.916 GWh, con lo cual el estado español obtiene un saldo importador de 11.102 GWh, es decir, se compró más electricidad de la que se vendió, por tanto, en el global anual no se produjo la suficiente cantidad de electricidad para abastecer el consumo total requerido.

3.5. Consumo eléctrico del parque de vehículos

El objetivo de este pequeño estudio de viabilidad es, en base a una estimación de los kilómetros que recorren el total de los turismos en el estado español y la equivalencia de estos en kWh, determinar si sería posible abastecer toda la energía eléctrica requerida para recorrer esa distancia, teniendo en cuenta los datos energéticos del apartado anterior y las previsiones futuras.

Según la Dirección General de Tráfico (DGT), el censo de turismos en diciembre de 2018 es de 24.074.216 automóviles, de un total de 32.106.520 vehículos. Se estima que cada persona recorre una media de 12.000 km anuales aproximadamente, por lo que la suma asciende a unos 288.890.592.000 km totales. Esta cifra es una suposición ya que se ha asumido que cada automóvil pertenece a una sola persona, lo cual no es así, es decir, un porcentaje de esos kilómetros totales se hacen compartidos y la cifra disminuiría. Por otra parte, solo se han tenido en consideración los turismos, otro tipo de vehículos como son motocicletas, camiones o furgonetas se han desestimado, por lo que los kilómetros recorridos por estos vehículos compensarían holgadamente la suposición anterior.

Según las fuentes consultadas, que se dedican a la prueba real de vehículos eléctricos, el consumo promedio de un turismo eléctrico medio (Ej: Toyota Prius) se sitúa en torno a los 17,7 kWh/100km, esto es, 0,177 kWh/km.

En base a estas estimaciones, con el total de kilómetros y su consumo correspondiente, se obtiene un consumo anual de 51.133.634.784 kWh (51.133,6 GWh).

Figura 6. *Recarga de un Renault Zoe (Fuente: Autobild)*

3.6. Conclusiones

Una vez obtenidos y analizados todos los datos necesarios, se observa que el consumo eléctrico del hipotético nuevo parque de vehículos es bastante importante. Tal es este dato que al comparar esta energía que se necesitaría en el futuro con la producción actual, observamos que se tendría que dedicar toda la potencia generada proveniente de centrales nucleares, incluso más del total de la potencia eólica o un porcentaje muy alto de la suma de la potencia generada a partir de centrales hidroeléctricas y centrales térmicas de carbón.

Estos datos son reveladores de la magnitud cuantitativa a la cual nos enfrentamos y genera interrogantes en cuanto a cómo tendrá que ser la producción de la energía requerida. Además, si se quiere cumplir con las directrices del Acuerdo de París, la energía a producir tendrá que ser proveniente de fuentes renovables, si no es muy posible que no se cumpla con la reducción del 80-95% de emisiones de GEI.

Si se supone que el total de electricidad a producir proviene de fuentes renovables y fijándonos en los datos actuales, algunas suposiciones pueden ser:

- Se tendría que doblar el parque eólico actual, con el impacto visual paisajístico que eso supone, aparte del impacto ambiental generado que afecta al suelo y a la flora y fauna del entorno.

- Se tendría que aumentar la producción en centrales hidroeléctricas en un 160%, lo cual es completamente imposible porque esta generación está limitada por la hidrografía española, que ya está muy explotada.

- Ni sumando la producción energética de todas fuentes renovables excepto la eólica se llegaría a la cifra requerida, suponiendo que toda ésta se dedicara a la recarga de vehículos.

Como se observa, se antoja difícil que toda la energía requerida provenga únicamente de fuentes renovables, a no ser que haya un desarrollo muy importante en los próximos años para aumentar la eficiencia de las técnicas actuales y por tanto conseguir una mayor producción eléctrica con los medios actuales o futuros.

Otro punto a tener en cuenta si el parque fuera eléctrico al 100% es a qué se destinarían todos los combustibles utilizados para el actual repostaje de vehículos. Según la Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (CORES), en 2018 se han consumido un total

de 4.663 kt de gasolina y 21.638 kt de gasóleo. Toda esta cantidad de combustible se podría destinar a la producción de electricidad en centrales térmicas, de cogeneración, de fuel + gas y de ciclo combinado, pero se seguiría contaminando la atmósfera. No obstante, la contaminación producida seria mucho menor a la que se está emitiendo actualmente quemando este combustible en millones de automóviles ya que son emisiones no controladas y repartidas por todo el territorio, en contraposición a las emisiones producidas en centrales, mucho menos numerosas y más controladas y reguladas.

En relación con lo anterior, se puede hacer una estimación de las emisiones que se producirían por el conjunto de fuentes no renovables ya existentes si tuvieran que generar la electricidad supuestamente requerida para el nuevo parque de vehículos, suponiendo que todo el combustible que ahora se utiliza en los repostajes, si se utilizara para producir electricidad, la energía producida abastecería al mismo número de vehículos.

Según REE (anexo B), en 2018 estas fuentes no renovables de energía emitieron 64.192.845 toneladas de CO_2 y teniendo en cuenta que el factor de emisión de éstas es de 0,246 tCO_2/MWh, con el total de energía requerida calculada anteriormente (51.133.634,8 MWh) se estiman unas emisiones de 12.578.874,2 toneladas de CO_2, lo cual es una cifra a tener en cuenta. Si bien esta cantidad de CO_2 sería menor a la emitida por todos los vehículos de combustión interna actuales, el objetivo en el futuro es erradicar casi por completo estas emisiones y seria incoherente añadir tal cantidad a la emitida actualmente, haciendo un total de 76.771.719 toneladas de CO_2.

En definitiva, dados los cálculos y suposiciones hechas, se podría decir que con los medios actuales sería difícil adecuarse a los planes de futuro acordados por la UE y los proyectos de ley del gobierno español. Se necesitarían grandes presupuestos e inversiones a nivel estatal para poder cumplir con las cifras obtenidas en cuanto a generación energética, emisiones de gases nocivos para la atmósfera e incentivo para la compra de vehículos eléctricos, además de un cambio de pensamiento a corto plazo de la sociedad para adoptar tendencias más sostenibles. Además de elaborar un plan para la construcción del nuevo parque eléctrico y de reciclaje de millones de vehículos que quedarían obsoletos según las nuevas normas de circulación.

4. Trabajo de campo

4.1. Introducción

Como ya se ha dicho en los objetivos de este proyecto, una de las motivaciones principales para diseñar un vehículo biplaza de pequeñas dimensiones ha sido el estudio del número de ocupantes que había en los vehículos que circulaban por una gran ciudad, en este caso, Barcelona. Dicho estudio se ha realizado justo antes de comenzar este proyecto para poder dar una correcta justificación del mismo.

4.2. Metodología

El estudio de ocupantes se ha realizado de la siguiente manera: nos hemos localizado en dos calles distintas de gran densidad de tráfico de la ciudad, una de entrada y salida de la misma, como es Av. Meridiana y la otra una calle mucho más céntrica, como es Av. Diagonal. Concretamente nos hemos situado en los números 321 y 440, respectivamente.

Figura 7. *Detalle de la localización de las muestras (Fuente: Google Maps)*

Una vez en el emplazamiento, mediante una plantilla de conteo (anexo C) se han observado el número de personas que ocupan cada vehículo que pasa en ese momento, centrándonos en vehículos particulares y excluyendo los de transporte público (taxi, VTC y autobús) y transporte de mercancías.

Las muestras han sido totalmente aleatorias y tomadas en diferentes días, el tamaño de cada una de la cuales ha sido de 268 vehículos. Para cada localización se han tomado muestras en tres horas diferentes, las 8:00h de la mañana y las 15:00h y 19:00h de la tarde, entendiendo que son lo que denominamos "horas punta", es decir, de máxima afluencia de tráfico, lo que nos facilitaría en gran medida la adquisición de datos. Finalmente, el conjunto de muestras suma un total de 1.608 vehículos.

4.3. Resultados

Una vez se han obtenido todas las muestras, para poder analizar los resultados se han realizado gráficos circulares para cada una de las horas observadas en ambas localizaciones. En primer lugar, se mostrarán los resultados de Av. Meridiana para cada una de las horas y seguidamente los de Av. Diagonal.

4.3.1. Av. Meridiana 321

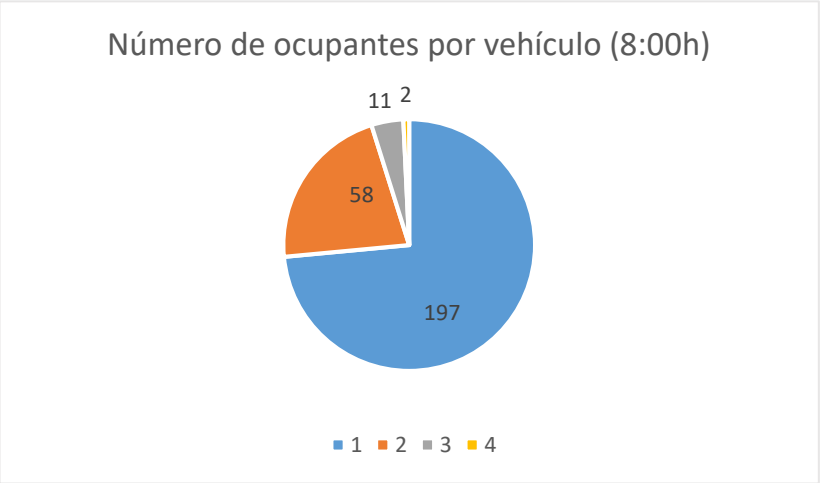


Figura 8. Nº de ocupantes por vehículo en Av. Meridiana 321 a las 8:00h

La muestra más matinal de Av. Meridiana se tomó el día 4 de febrero de 2019. Podemos observar que, de un total de 268 vehículos, 197 solamente estaban ocupados por una persona, es decir, un 75,5%, lo cual es una cifra muy a tener en cuenta. Por otra parte, 58 han sido los vehículos ocupados por dos personas, un 21,64%, que no llega ni a una tercera parte de la cifra anterior. Por último, un 4,10% estaban ocupados por tres personas y un escaso 0,74% ocupados por cuatro personas. Con los primeros resultados obtenidos ya podemos ver las grandes diferencias que existen entre un solo ocupante y los demás, incluso con dos ocupantes. Como particularidad se destaca que no se observó ningún vehículo con cinco ocupantes.

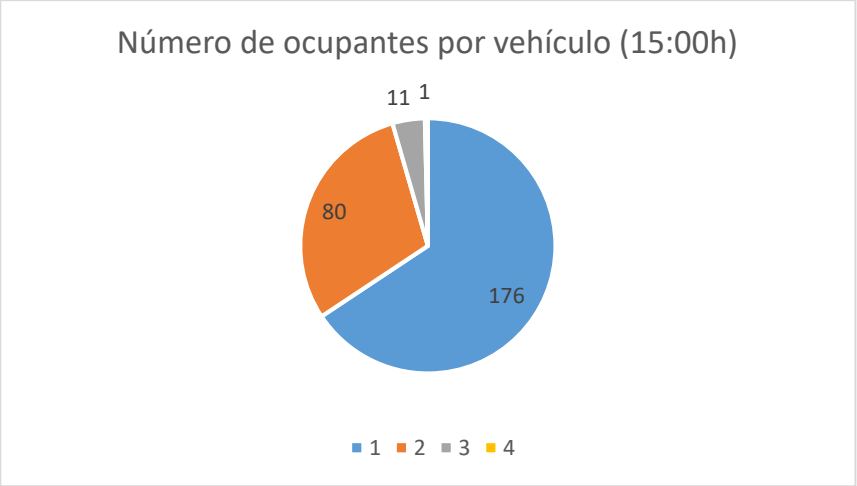


Figura 9. *Nº de ocupantes por vehículo en Av. Meridiana 321 a las 15:00h*

Siguiendo en Av. Meridiana, la muestra de las 15:00h se tomó el día 13 de febrero de 2019. Vemos como las diferencias entre los vehículos con un solo ocupante y los demás también son muy grandes. El caso de una sola persona representa un 65,67% del total, más del doble que el caso con dos ocupantes, entorno al 29,85%. Aunque las diferencias son menores que a las 8:00h de la mañana, siguen siendo significativas. Por último, casualmente igual que en el resultado anterior, solamente un 4,10% de vehículos estaban ocupados por tres personas, y un solo vehículo estaba ocupado por cuatro personas, representado un ínfimo 0,37% del total. Tampoco en este caso se contabilizaron cinco ocupantes en un vehículo.

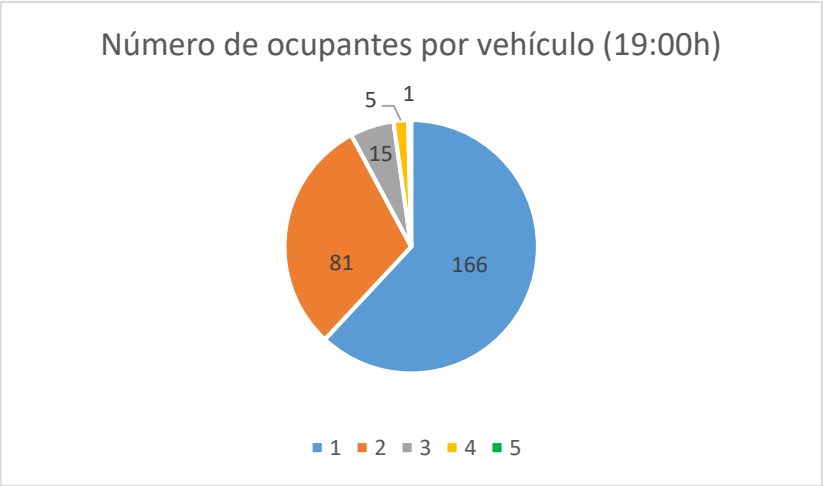


Figura 10. *Nº de ocupantes por vehículo en Av. Meridana 321 a las 19:00h*

La muestra a la hora más tardía que se tomó en Av. Meridiana fue realizada el día 12 de febrero de 2019. En ella observamos que, aunque el número de vehículos con un solo ocupante es el menor de las tres horas analizadas, con un 61,94%, sigue siendo ligeramente más del doble que con dos ocupantes, con un 30,22%, lo cual es muy significativo y ha marcado la tendencia en todos los resultados. En este último análisis vemos que se han incrementado los vehículos con tres y cuatro ocupantes, representando un 5,59% y un 1,86% respectivamente. Por último, en esta muestra sí que aparece un vehículo ocupado por cinco personas, representando un 0,37% del total, solamente.

4.3.2. Av. Diagonal 440

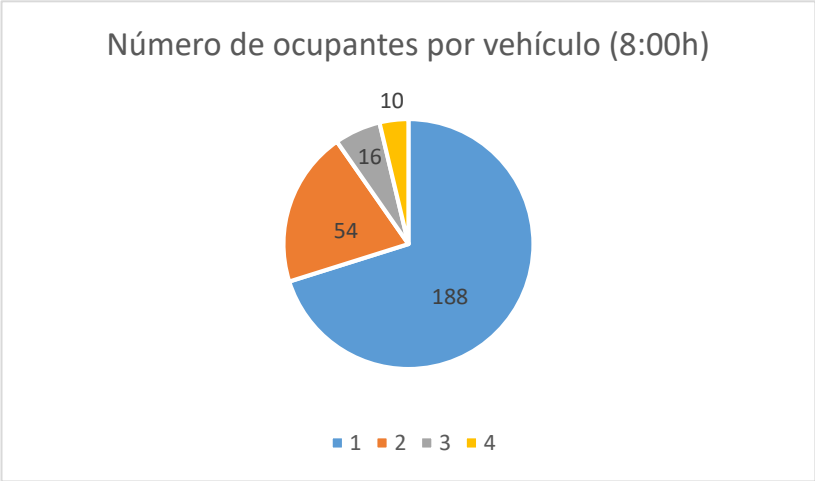


Figura 11. *Nº de ocupantes por vehículo en Av. Diagonal 440 a las 8:00h*

La primera muestra que se tomó en Av. Diagonal fue realizada el 13 de febrero de 2019. Tal y como ocurre en la otra localización del estudio, las diferencias entre un ocupante y dos son significativas, al igual que con tres y cuatro ocupantes. En este caso se contabilizaron 188 vehículos con un solo ocupante, un 70,15% del total, y 54 vehículos con dos ocupantes, lo que representa un 20,15%, no llegando ni a una tercera parte de la cifra anterior. Por lo que respecta a tres ocupantes, se contabilizaron 16 vehículos, un 5,97% del total, la cifra más alta hasta ahora, tal y como pasa con cuatro ocupantes, representado un escaso 3,73% del total, con 10 vehículos. A esta hora del día tampoco se contabilizó ningún vehículo con cinco ocupantes.

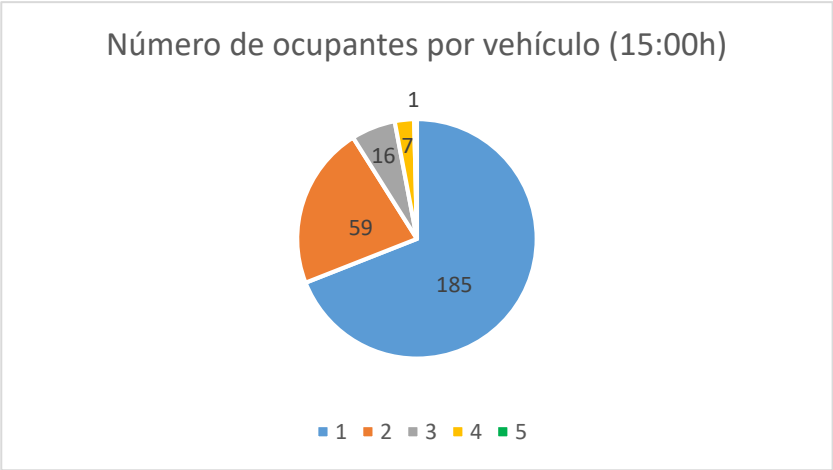


Figura 12. *Nº de ocupantes por vehículo en Av. Diagonal 440 a las 15:00h*

La muestra a primera hora de la tarde en Av. Diagonal se tomó el día 4 de febrero de 2019. Los valores obtenidos son muy similares a los de las 8:00h de la mañana, lo cual es de importancia. Con un 69,03% del total se representan los vehículos con un solo ocupante, mientras que solamente un 22% estaban ocupados por dos personas. Tal y como en la muestra anterior, las cifras con dos ocupantes no llegan ni a una tercera parte que con un solo ocupante, lo cual es de relevancia. Al igual que en el caso anterior, se contaron 16 vehículos con tres ocupantes, un 5,97% del total, y con cuatro ocupantes se contabilizaron únicamente siete vehículos, un 2,61%. A esta hora también hubo un vehículo con cinco ocupantes, representando un 0,37% del total.

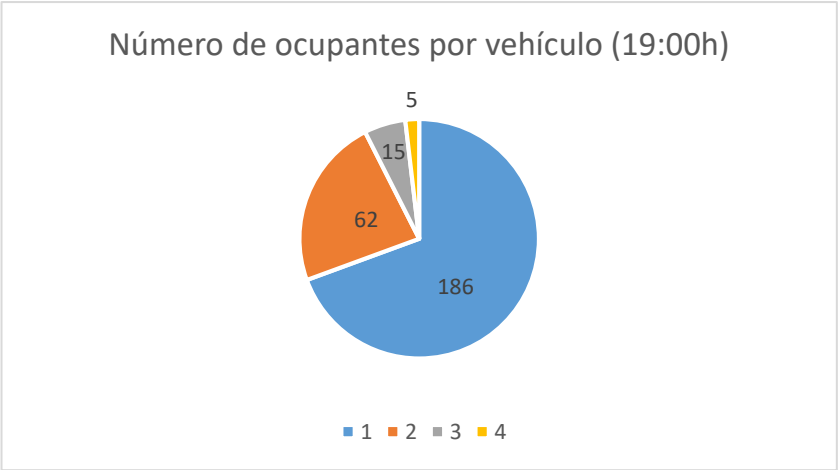


Figura 13. *Nº de ocupantes por vehículo en Av. Diagonal 440 a las 19:00h*

La última muestra a analizar en Av. Diagonal se tomó el 7 de febrero de 2019. También en este caso encontramos cifras similares a las muestras anteriores en esta misma localización. En total se contabilizaron 186 vehículos con un ocupante, un 69,40% y 62 vehículos con dos ocupantes, la cifra más alta en esta localización, representando un 23,13% del total, lo que casualmente es una tercera parte de la cifra de vehículos con un ocupante. Por último, con tres ocupantes se contabilizaron 15 vehículos, un 5,59% y con cuatro ocupantes, 5 vehículos, lo que significa un escaso 1,86%, la menor cifra hasta ahora. De nuevo, a esta hora no se observó ningún vehículo con cinco ocupantes.

4.3.3. Resultado total

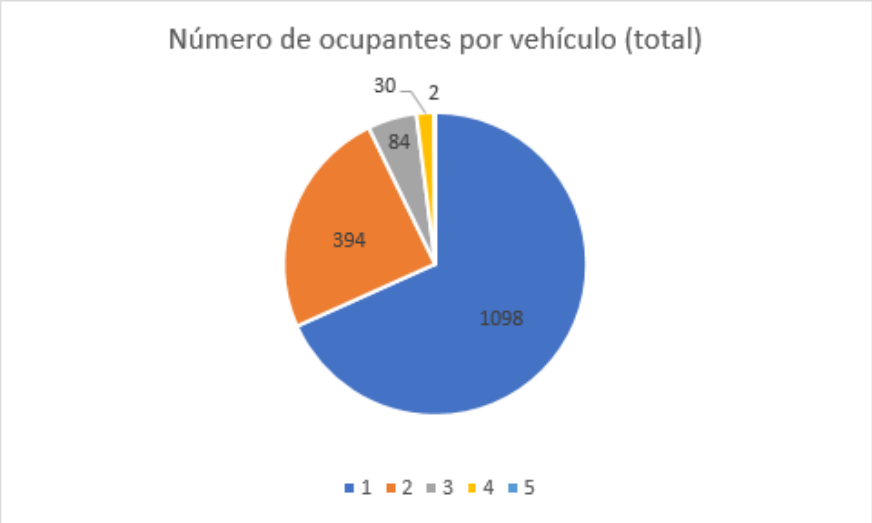


Figura 14. *Nº total de ocupantes por vehículo*

Para tener una visión global de los resultados obtenidos, se ha realizado una gráfica con los valores totales de las muestras anteriores. Así es como de un total de 1.608 vehículos, 1.098 de ellos iban con un solo ocupante, lo que representa un 68,28%, casi tres cuartas partes del total de vehículos contabilizados, lo cual es muy significativo. Un 24,5% de dichos vehículos estaban ocupados por dos personas, ligeramente por encima de una tercera parte de la cifra anterior, siguiendo la tendencia de los resultados individuales. Por lo que respecta a tres ocupantes, se observaron 84 vehículos, un 5,22% y en referencia a cuatro ocupantes, se contabilizaron unos escasos 30 vehículos, representando un escaso 1,86% del total. Por último, solamente se contabilizaron dos vehículos con cinco ocupantes, lo que resulta en un ínfimo 0,12%.

4.4. Conclusiones

Una vez analizadas todas las muestras que se tomaron en las dos localizaciones podemos determinar que:

- Indistintamente de la hora y la localización, existe una gran diferencia entre los vehículos con uno y dos ocupantes, habiendo una cantidad muy elevada de los primeros.

- Los vehículos con tres ocupantes ocupan el tercer lugar en el ranking, a una distancia muy significativa de los vehículos con un ocupante y siendo una tercera parte de la cifra con dos ocupantes.

- No se llega ni a un 2% de vehículos con cuatro ocupantes, lo cual es una cifra a tener en cuenta ya que nos indica que no se aprovechan la mayoría de plazas que tienen estos automóviles.

- La cifra correspondiente a cinco ocupantes es ínfima, lo que corrobora la explicación del punto anterior.

- No hay una distinción clara, en una misma localización, entre las cifras en las diferentes horas de muestreo, por tanto, a lo largo del día se mantiene la tendencia en cuanto a las mismas se refiere.

Por último, la suma de vehículos con uno y dos ocupantes representa un 92,79% de la contabilización total. Esta última referencia y las comentadas anteriormente nos hacen llegar a la conclusión de que está totalmente justificado que el vehículo a diseñar sea biplaza, ya que casi la totalidad de vehículos que circulan solamente están ocupados por una o dos personas. Esta medida también ayudará a reducir las dimensiones del vehículo, facilitando su maniobrabilidad por la ciudad y, por otra parte, también se reducirá el coste del mismo, objetivos principales de este proyecto.

5. Chasis

El chasis es una estructura interna encargada de dar sostén, rigidez y forma al vehículo. Esta estructura interna suele estar fabricada en hierro, aleaciones de acero o algún metal similar que sea capaz de ofrecer unas buenas prestaciones en cuanto a dureza. En este armazón de montan y sujetan todos los mecanismos que forman parte del coche.

Son muchas las estructuras que se han utilizado, generalmente esto depende de la función prevista del vehículo, pero la seguridad pasiva es el principal punto de partida para su diseño. Esto es así desde que se empezaron a realizar los ensayos de colisión (*crash test*).

5.1. Tipos de chasis

5.1.1. Bastidor independiente

Este tipo de bastidores se usan especialmente en vehículos todoterreno y están formados por largueros y travesaños. La construcción de estos bastidores debe ser de tal manera que asegura la mejor combinación entre ligereza y rigidez. Por ello es que los fabricantes siempre adoptan diferentes formas y geometrías para conseguir estas cualidades.

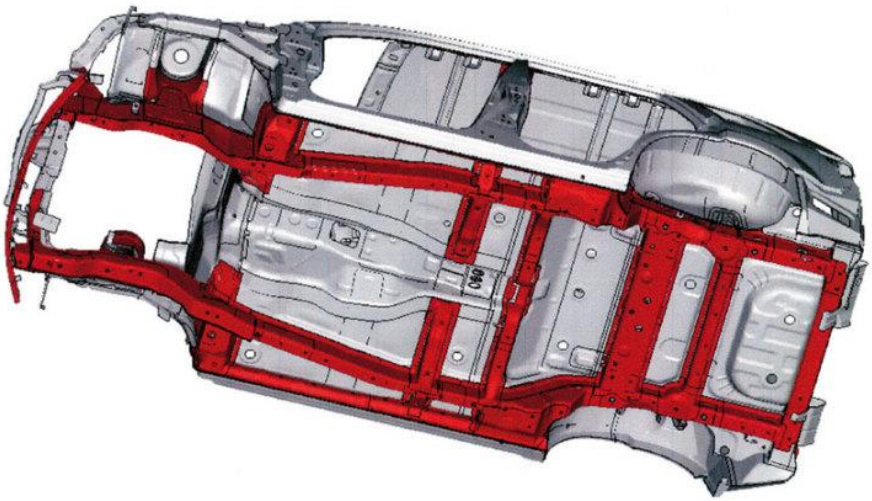


Figura 15. *Bastidor independiente visto desde abajo (Fuente: Ingemecánica)*

Los largueros tienen que soportar el peso de los distintos mecanismos, bien directamente o por mediación de los travesaños, y por ello están sometidos constantemente a un esfuerzo a flexión. En marcha, estos esfuerzos a flexión se incrementan debido a las irregularidades de la calzada y, además, aparecen esfuerzos torsionales por la misma razón. Es por ello que las secciones deben ser rectangulares o en forma de U, puesto que estas son las que aportan una mayor rigidez y además permiten una fácil unión de los travesaños y la construcción del bastidor no resulta complicada.

Gracias a la excelente robustez, este tipo de estructuras son las adecuadas para transportar mucho peso y circular por terrenos muy bacheados. El inconveniente es que resulta muy pesada, hecho que hace reducir la seguridad activa (estabilidad, direccionabilidad y frenada). La seguridad pasiva tampoco es el punto fuerte del bastidor independiente puesto que se incluyan zonas que se deformen progresivamente en los extremos de los largueros.

5.1.2. Carrocería autoportante

Este tipo de carrocería es el que se usa en la actualidad en la mayoría de los turismos. En este caso no existe el bastidor propiamente dicho, sino que el armazón de la carrocería se cierra por la parte inferior, formando una estructura de gran rigidez. Es lo que se denomina estructura de cascarón, ya que distribuye los esfuerzos de forma efectiva por todos los elementos que la forman para que así resulte mucho más resistente. Este tipo de carrocerías tienen una estructura de túnel central, con largueros y travesaños enlazados y piezas de chapa como refuerzos. El hecho de que la mecánica vaya directamente asentada en la estructura es el que le da el nombre de autoportante.

Figura 16. *Carrocería autoportante (Fuente: CARMAT)*

Las carrocerías autoportantes tienen una zona delantera y trasera diseñada para que en caso de colisión se deformen progresivamente. El habitáculo, sin embargo, es muy rígido y ofrece unas buenas cualidades en seguridad pasiva.

5.1.3. Tubular (*Spaceframe*)

Esta estructura es prácticamente artesanal, es decir, el proceso de fabricación no se puede automatizar y por ello es que se suele aplicar en automóviles de competición o deportivos de muy altas prestaciones o buggies. Consiste en una estructura de tubos huecos soldados entre sí, distribuidos en el espacio de tal forma que sean capaces de soportar las masas suspendidas del vehículo, así como de proteger a los ocupantes en caso de accidente. Estas estructuras rebajan el peso drásticamente, son muy rígidas y tienen un excelente comportamiento en seguridad pasiva. Las reparaciones también son de forma artesanal, por lo que también se encarecen en exceso.

Figura 17. *Carrocería tipo Spaceframe (Fuente: Diariomotor)*

5.2. Elección del tipo de chasis

Para la elaboración del chasis del vehículo hemos optado por uno de tipo tubular, con las ventajas e inconvenientes que esto comporta. Entra las ventajas más importantes tenemos tanto la reducción de peso del conjunto del vehículo como el plus de seguridad que éste nos aporta y la facilidad de diseño del entramado de barras. Por otro lado, entre los aspectos negativos de este tipo de estructuras nos encontramos en que son de elaboración artesanal y no se puedan automatizar. Al tratarse nuestro vehículo de un prototipo este aspecto negativo no es de importancia en nuestro estudio porque por el momento no se va a comercializar. Es por esto que se ha decidido hacer un primer proyecto en el que el vehículo tenga un chasis tubular.

5.3. Criterios de diseño

La base de diseño de nuestro chasis está inspirada en el de un buggy y adaptada para el uso en condiciones urbanas. Las dimensiones de éste son reducidas ya que se trata de un vehículo de uso mayoritario en ciudad y se ha buscado un vehículo ágil en este entorno y fácil de maniobrar y estacionar. Para inspirarnos en cuanto a tamaño del vehículo hemos tenido en cuenta las dimensiones del Ranault Twizy y las del Smart Fortwo, buscando algo intermedio en el que los ocupantes puedan ir sentados en paralelo y puedan llevar cada uno en el maletero una maleta de mano como mínimo. La comodidad o confort del habitáculo quedan relevados a un segundo plano por este motivo ya que se han ajustado las dimensiones para reducir al máximo el peso del vehículo y así aumentar la autonomía de éste en un entorno urbano.

Todo chasis de un vehículo eléctrico debe tener una estructura que proteja las baterías en caso de accidente para así proteger tanto a las baterías como a los ocupantes del vehículo. Teniendo en cuenta que en nuestro vehículo es el elemento más pesado, se han ubicado en la parte inferior para así bajar todo lo posible el centro de gravedad del vehículo y además situarlas en el sitio, por estadística, menos propenso a sufrir daños tras un impacto. A la estructura se le ha añadido un refuerzo que hace que la jaula de protección de las baterías sea casi indeformable e y a su vez actúa como protección de éstas.

En cuanto a la forma del chasis, no se ha diseñado buscando un coeficiente aerodinámico bajo, ya que no es un coche pensado para hacer viajes largos por autopista, sino más bien para desplazamientos urbanos y algún trayecto interurbano, por el hecho de no disponer casi de maletero ni el confort necesario para ello.

5.3.1. Habitabilidad del vehículo

Para que el habitáculo tenga una habitabilidad válida y garantice un mínimo de confort y seguridad se han de tener en cuenta varios aspectos:

- La geometría del chasis del habitáculo tiene que facilitar en la medida de lo posible su acceso y desalojo de una forma cómoda.
- La estructura tiene que interferir mínimamente en la visión del piloto.
- Los ocupantes tienen que estar correctamente posicionados, siguiendo el modelo del llamado Percentil 95[(1)].
- La longitud de las piernas en ángulo y la longitud de los pedales determinan la longitud del habitáculo del vehículo y su altura.

5.3.2. Batalla

La batalla o distancia entre ejes se define como la distancia que separa el eje delantero del trasero en un vehículo. Esta distancia entre ejes afecta notablemente al comportamiento del mismo. Cuando la distancia de batalla es larga obtenemos una configuración de vehículo estable mientras que cuan ésta es corta, el vehículo tiende a ser poco estable pero muy ágil.

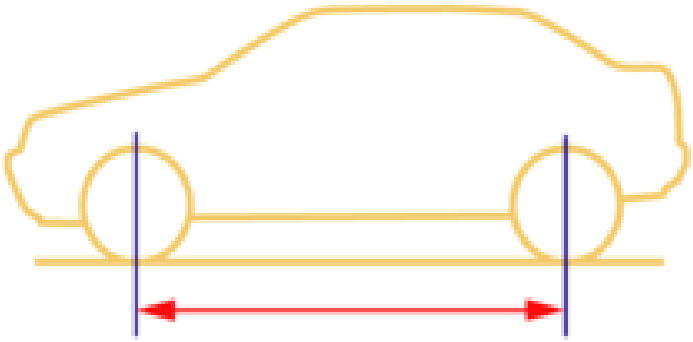


***Figura 18**. Batalla (Fuente: Diariomotor)*

[(1)] El modelo de percentil 95 representa a una persona de 188cm de estatura con una masa de 100kg.

Para tener una referencia de esta distancia, se ha cogido como referencia también en base a los dos coches mencionados anteriormente.

Tabla 1. *Comparativa entre batallas*

Modelo	Batalla [mm]
Renault Twizy	1.686
Smart Fortwo	1.873

Como nuestro vehículo tiene unas dimensiones comprendidas entre estos dos modelos, el ancho de batalla debería también situarse en un valor comprendido en el intervalo, aunque más cercano al del Smart Fortwo ya que las dimensiones se asemejan más a las de este modelo. Finalmente, la batalla de nuestro vehículo es de aproximadamente unos 1.900mm.

5.3.3. Vía

El ancho de vía es la separación entre las ruedas de un mismo eje. Esta distancia se mide desde el centro de la banda de rodadura de los neumáticos y puede ser distinta en el eje delantero y el trasero. Cuanta más grande es esta distancia más estabilidad tendrá el vehículo en el paso por curva.

Para que el coche no tenga problemas de estabilidad, la diferencia entre los anchos de vía delantero y trasero no debe de superar el 10%. En nuestro vehículo el ancho delantero será de 1450mm y el trasero de 1400mm.

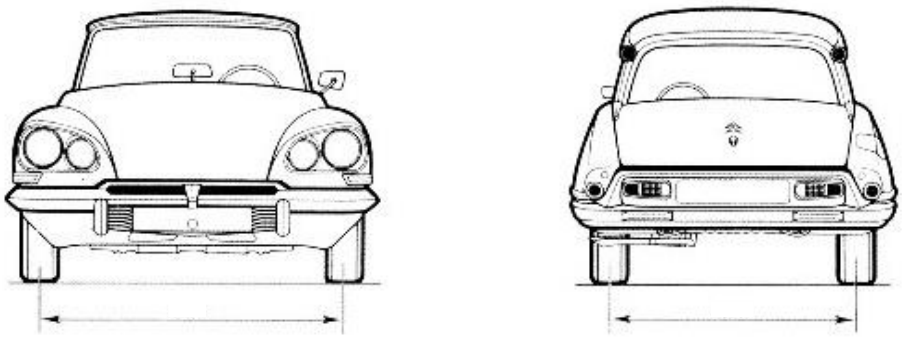


Figura 19*. Ancho de vía delantero y trasero (Fuente: CitroenDS)*

5.3.4. Jaula de protección

Se ha diseñado una jaula de protección para las baterías, cuya función es tanto soportar como proteger dichas baterías que alberga en su interior. Para su construcción ha sido necesario el uso de refuerzos tipo triangulo ya que las disposiciones cuadradas como estas se deforman con facilidad el ser empujadas y no tener ningún apoyo frontal.

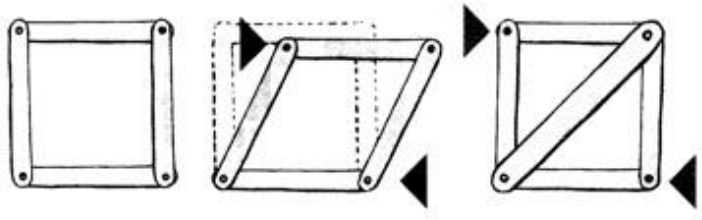


Figura 20. *Refuerzo triangular (Fuente: Tecnología de estructuras)*

5.3.5. Sección del tubo usado

El tubo usado para la fabricación del chasis, a priori, es el siguiente:

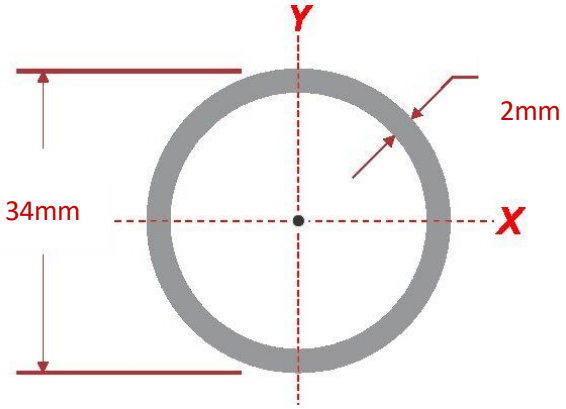


Figura 21. *Sección de tubo usada (Fuente: Mipsa)*

A falta de analizar cómo se comporta este tipo de tubo al recibir las cargas que tiene que soportar el chasis y el material que se va a usar para ello.

5.4. Propuestas de chasis

A continuación, se exponen los 3 modelos de chasis diseñados para nuestro vehículo eléctrico. Todos ellos son primeras versiones que se deben ir retocando y reforzando una vez hagamos el estudio de estos.

5.4.1. Chasis A

La primera propuesta de chasis es la siguiente:

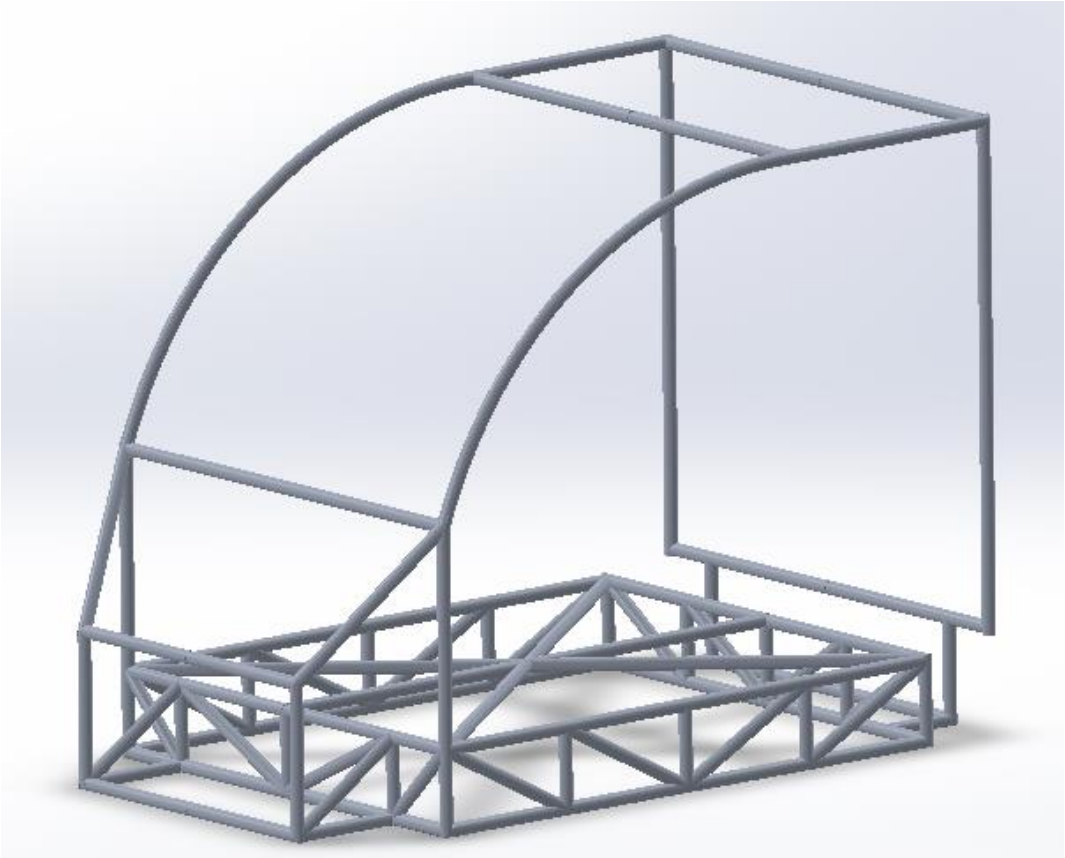


Figura 22. *Chasis A*

Nos encontramos ante una estructura de chasis muy sencilla y sin muchos refuerzos. Las dimensiones de este chasis son de 2000mm de largo y 1200mm de ancho. Tal y como se ha comentado anteriormente la jaula de seguridad de las baterías tiene refuerzos en triángulo en los laterales para impedir que se venza hacia los lados. Además, dispone de un refuerzo en estrella en la parte superior para aguantar el peso de los ocupantes y dar rigidez al suelo del vehículo.

5.4.2. Chasis B

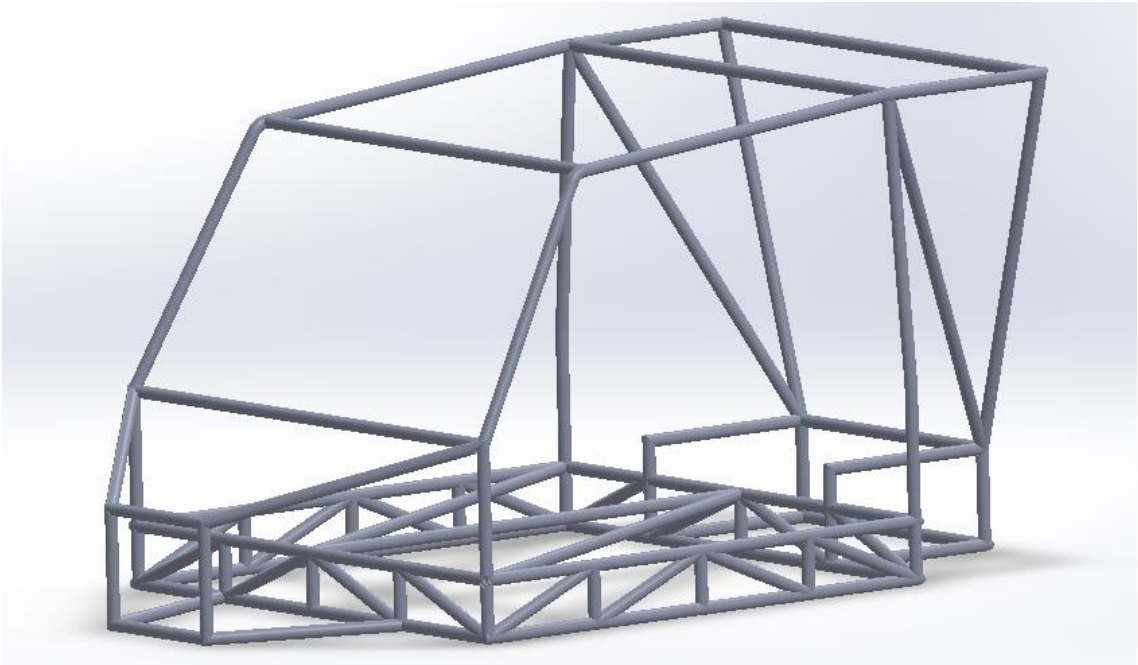


Figura 23. *Chasis B*

Este chasis es bastante diferente al anterior ya que cambian tanto sus dimensiones como la forma. En este caso el chasis tiene una longitud de 2400mm y una anchura de 1450mm. Se mantiene los refuerzos en triangulo de la jaula de protección de baterías y se substituye el refuerzo en estrella de la parte superior por otro en forma de W para ver las diferencias en cuanto a rigidez y comportamiento de la estructura.

5.4.3. Chasis C

Este último chasis es parecido al anterior. En cuanto a dimensiones son las mismas tanto longitudinales como transversales (2000mm de longitud y 1450mm de ancho) y la forma es similar, pero cambiando el soporte superior de la jaula de seguridad de las baterías (se vuelve a la forma del chasis A para comparar mejor el comportamiento de estos dos tipos de refuerzos entre el chasis B y el chasis C) y se sigue usando el refuerzo en triangulo para ésta. También, la estructura frontal y la posterior tienen varias diferencias respecto a la del chasis B, de esta manera podemos variar el comportamiento de estas partes sobre el cuerpo central de la estructura.

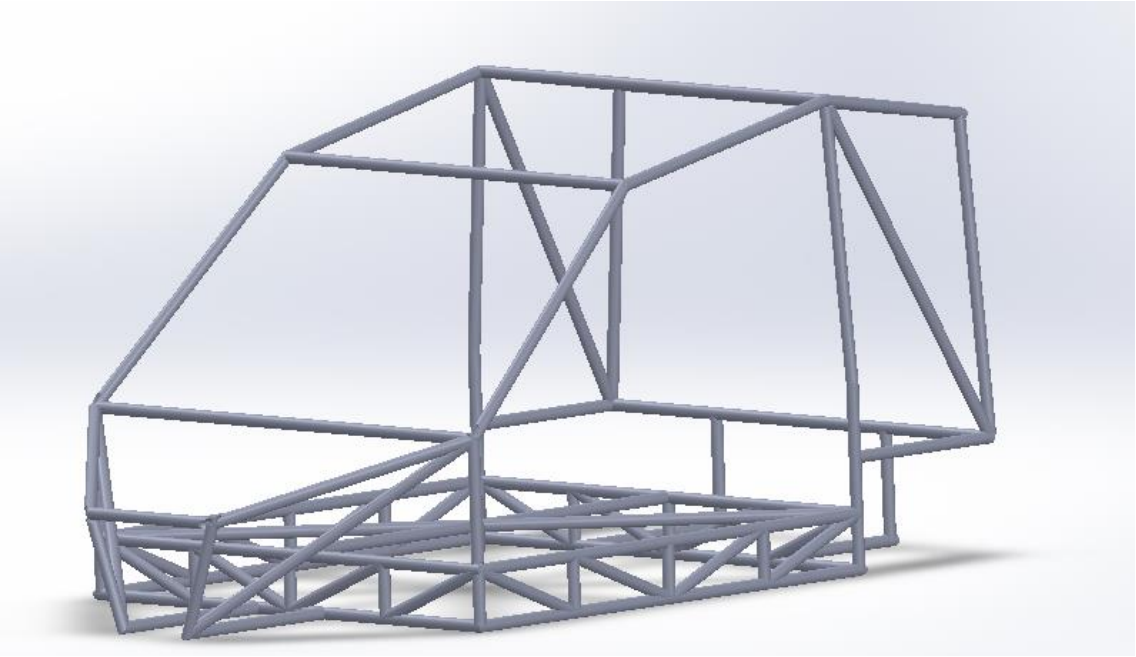


Figura 24. *Chasis C*

5.5. Soporte de las baterías

Las baterías necesitan un soporte que las fije a la jaula de protección. Para ello se podrían utilizar barras diagonales con fijaciones desmontables en cada esquina de ésta, facilitando así el desmontaje del componente.

5.6. Material de construcción

Para el diseño del chasis se ha decidido usar barras de aluminio 7020 T6 con la sección propuesta anteriormente. Esto conlleva unas ventajas como son el peso, ya que buscamos reducir al máximo el peso de nuestro vehículo, la resistencia a la corrosión y la facilidad de reciclaje de este material. Como desventajas nos encontramos ante un elevado coste de fabricación elevado y también con que la soldadura de aluminio es más complicada que la de otro tipo de materiales.

5.6.1. Definición

El aluminio es un elemento químico, destacado en la categoría de metales no ferromagnéticos. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Su extracción es únicamente a partir de un mineral conocido como bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer y seguidamente en aluminio metálico mediante electrólisis. Tiene una baja densidad y alta resistencia a la corrosión, así como buen conductor de la electricidad y del calor, es relativamente barato y se mecaniza con facilidad, aunque su soldadura es compleja y delicada. La temperatura de soldadura depende del punto de fusión del material de adhesión utilizado, que debe ser siempre menor al punto de fusión del metal base.

5.6.2. Soldadura

El aluminio y las aleaciones a base de aluminio pueden unirse fundamentalmente mediante el proceso de soldadura por fusión. Las diferencias en la capacidad de soldadura dependiente del contenido en componentes de aleación, limitan en parte la aplicación práctica.

La soldadura en aluminio se hace bajo una atmosfera de gas protector que elimina la capa de óxido que se forma cuando el aluminio está en contacto con el oxígeno.

5.6.3. Procedimiento

Hay dos tipos de soldadura bajo atmosfera de gas protector, la TIG (Tungsten Inert Gas), que es una soldadura con electrodos de volframio con gas protector y la MIG (Metallelektrode-Inertgas), en la que los electrodos son de metal y también se hace con gas protector. Todos los demás procedimientos de soldadura con gas protector, según la norma DIN 1910 parte 4, no son aplicables al aluminio.

En la soldadura por el método TIG el arco eléctrico salta entre un electrodo de volframio no fusible y la pieza. El gas protector sale a través de una tobera situada concéntricamente alrededor del electrodo, la mayor parte de las veces refrigerada por agua, protegiendo de la oxidación al electrodo y a la zona de soldadura. El material de aportación en este método de soldadura se aporta en forma de varilla sin conducir corriente. El método de soldadura MIG

se diferencia solamente en que el material de aportación forma el electrodo y va saliendo automáticamente a medida que se funde en el arco eléctrico.

La función del gas protector inerte es únicamente, en principio, la de impedir una nueva oxidación de la limpieza hasta que se haya formado la unión por soldadura y el metal se encuentre solidificado.

El proceso de soldadura MIG tiene un elevado rendimiento de fusión ya que se le puede aplicar una carga térmica elevada de los electrodos, mientras que con el método de soldadura TIG tenemos que reducir esta carga térmica de los electrones porque, por el contrario, se destruiría la punta del electrodo de volframio.

5.6.4. Soldadura TIG

5.6.4.1. Soldadura TIG con corriente alterna

En este tipo de soldadura el gas argón es el encargado de formar la atmósfera protectora. El arco eléctrico salta entre la pieza y el electrodo de volframio, no fusible tal y como se ha comentado anteriormente. El material de aportación se aplica sin corriente eléctrica, en el caso de los materiales que no son endurecibles pueden soldarse sin necesidad de ningún material de aportación.

5.6.4.2. Soldadura TIG con corriente continua

La soldadura TIG con corriente continua está, en el caso de los electrodos polarizados negativamente, adquiriendo una importancia creciente. Este procedimiento tiene como ventaja la profunda penetración y que el arco eléctrico es más profundo que el del procedimiento con corriente alterna. En este caso la atmósfera protectora la forma el helio y, ocasionalmente, se adiciona hasta un 35% de argón. El inconveniente de este tipo de soldadura es que el arco eléctrico no elimina el óxido, por lo que debe diluirse la película de óxido de los flancos de la costura inmediatamente antes de la soldadura.

También, con corriente continua, aparece la soldadura WIG pulsatoria continua (soldadura WIG por impulsos), en la que se suelda con corriente continua superpuesta con impulsos utilizando electrodo de volframio polarizado positivamente. Modificando la corriente de impulsos, la corriente básica, la frecuencia de los impulsos, la reducción de amplitudes y la

anchura del impulso se puede controlar la fusión y solidificación de las partes a soldar de tal manera que durante el impulso se funda y en la pausa se enfríe de forma controlada. De esta forma se consigue disminuir la carga térmica del electrodo.

5.6.4.3. Soldadura por plasma

La soldadura por plasma está caracterizada por tener un arco eléctrico estrangulado, casi cilíndrico, que se transfiere con un haz gaseoso ionizado. Como el rayo de plasma no actúa como camisa de gas protector debido a su pequeña expansión lateral, se requiere de un gas protector adicional que fluye por la boquilla anular.

Para el caso del aluminio esta soldadura se realiza de dos formas diferentes:

- Soldadura de plasma de polo positivo: Se realiza con corriente continua y electrodo de volframio conectado al polo positivo. Se genera una elevada carga térmica en el electrodo que se compensa aumentando el diámetro de éste y añadiendo refrigeración.

- Soldadura de plasma con piquera: En este caso el rayo de plasma atraviesa la pieza a soldar, fundiendo el material de su entorno. Se suelda con corriente continua pulsatoria, teniendo lugar la eliminación del óxido mediante una polarización negativa de la pieza. Este procedimiento permite obtener costuras libres de defectos para soldaduras unilaterales de hasta 13mm de espesor, zonas de influencia térmica muy estrechas y escasa contracción. La mayoría de veces se suelda con material de aportación.

5.6.4.4. Soldadura por puntos TIG

Este proceso de soldadura por puntos se realiza con o sin material de aportación. Se usa para la fabricación de uniones solapadas, uniendo la chapa que se encuentra en la parte superior a la que está situada debajo de ella por fusión simultánea. Este método se usa generalmente con espesores de la chapa superior de hasta 2mm, con lo que su aplicación es muy reducida.

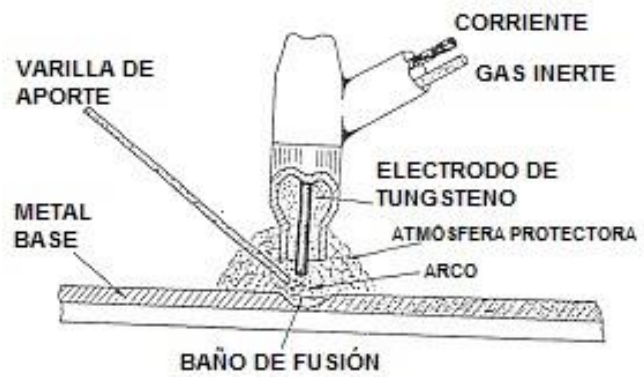


Figura 25. *Soldadura TIG (Fuente: Escuela de soldadores)*

5.6.5. Soldadura MIG

5.6.5.1. Soldadura MIG con arco difuso

En la soldadura MIG con arco difuso el arco se inflama entre la pieza y el electrodo de alambre fundente, que actúa al mismo tiempo como material de aportación. La soldadura se realiza con corriente continua y el electrodo polarizado positivamente. El material de aportación se añade en forma de gotas finas bajo una atmósfera protectora de gases inertes como el argón, el helio o la mezcla de éstos. Las limitaciones en este tipo de soldadura son de hasta 6mm de espesor de material gracias a la profunda penetración que origina la elevada densidad de corriente.

5.6.5.2. Soldadura MIG con corriente continua pulsatoria

Esta variante del proceso MIG consiste en la superposición de impulsos de corriente en el mismo sentido a una corriente continua. Con esta superposición se eleva la corriente total durante un período corto de tiempo ocasionando así un rápido transporte del material. Es por eso que el tránsito de gotas es menor, pero son de mayor tamaño que en el caso de un tránsito normal. Este tipo de soldadura nos aporta una mayor seguridad en la soldadura por capas, disminuye la porosidad de la soldadura y disminuye los costes de los electrodos de alambre.

Existes dos variantes a este tipo de soldadura:

- *Adaptive Spray Welding*: La secuencia de impulsos y la corriente de soldadura se controlan por la longitud del arco o la distancia entre el extremo de los electrodos de alambre y la superficie de la pieza.

- *Synergic pulsed MIG*: La corriente con ondas rectangulares provoca que con cada impulso pase una gota de materia l de aportación. La estabilidad del arco eléctrico se consigue adaptando la frecuencia de impulsos al avance de los electrodos de alambre.

5.6.5.3. Soldadura MIG con alambre grueso

Esta variante de la soldadura MIG permite la soldadura de chapas gruesas con intensidades de corriente considerablemente mayores, es decir, utilizando electrodos de alambre más gruesos. La regulación tiene lugar con energía de arco constante y variando esta vez la velocidad de avance de los electrodos de alambre. Se pueden conseguir en este caso rendimientos de fusión muy altos.

5.6.5.4. Soldadura MIG con corriente de alta intensidad

Las altas intensidades específicas, el gran avance del electrodo y la penetración profunda caracterizan este tipo de soldadura. Se pueden soldar espesores de hasta 32mm de material y debido al gran lecho de fusión se puede soldar solo en posición horizontal. LA atmosfera de gas protectora es en este caso de argón.

5.6.5.5. Soldadura MIG por plasma

En la soldadura MIG por plasma se realiza la formación del plasma mediante un arco eléctrico transferido que salta de un electrodo no fundente de volframio o cobre y la pieza.

5.6.5.6. Soldadura MIG por puntos y de botón

Consiste en la fusión de la chapa superior y reblandecimiento de la chapa inferior para conseguir una unión solapada. Se usa muy pocas veces debido a que se requiere una eliminación del óxido y una limpieza en las superficies de contacto.

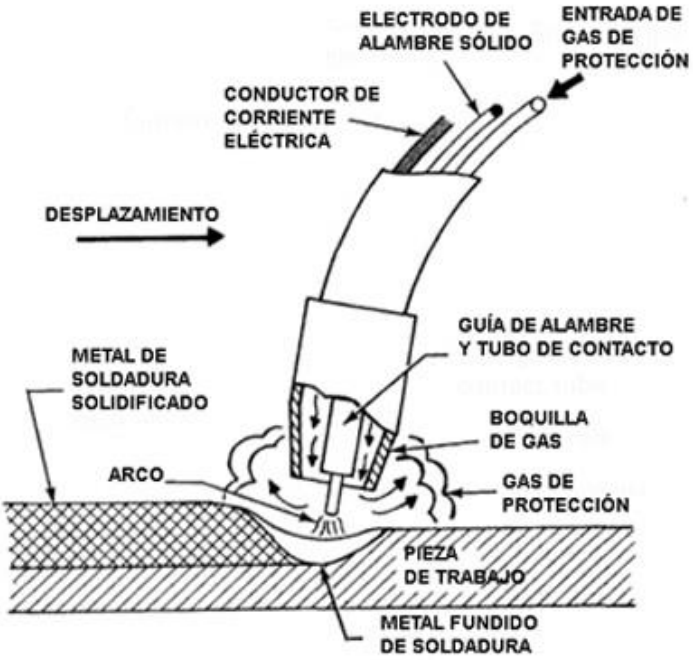


Figura 26. *Soldadura MIG (Fuente: Escuela de soldadores)*

Una vez explicados los dos métodos de soldadura por fusión existentes para el aluminio y todas sus variantes es momento de escoger la que se usará para unir las barras que conforman el chasis de nuestro vehículo. El material que se desea soldar tiene un espesor de 4mm, por lo que la mayoría de los procedimientos serían validos en cuanto a ese aspecto. El primer paso es decidir si se hará con soldadura TIG o MIG. Se ha escogido la soldadura MIG ya que 4mm es el límite de espesor que nos permite la soldadura TIG para casos de soldadura de costuras a tope y a partir de este punto la soldadura TIG se vuelve antieconómica debido a la escasa concentración de calor, hay que soldar mucho más lentamente y con más capas, apareciendo zonas de influencia térmica más amplias.

Dentro de las soldaduras por el método MIG soldaremos con corriente pulsatoria, una de las variantes explicadas anteriormente, lo que supone una mayor seguridad en la soldadura por capas, una disminución de la porosidad en la soldadura y el descenso de los costes.

5.6.6. Elección del material de aportación

Los procesos en los que un fundido se solidifica exigen un material de aportación, que ha de ser adecuado no sólo con vistas a la resistencia mecánica y a la buena fluidez, sino también a la solidificación del material fundamental y evitar el peligro de que se originen grietas por contracciones. Para el tipo de soldadura bajo atmósfera de gas protector una buena elección del tipo de material de aportación es fundamental, ya que se trabaja con elevadas velocidades de soldadura, porque la solidificación del fundido es mucho más rápida.

En este caso, la aportación se hará con aluminio 7020 T6, el mismo material que tenemos en la estructura del vehículo.

5.6.7. Dispositivos de aportación del alambre en la soldadura MIG

La instalación de estos dispositivos consta de un transformador de corriente continua o rectificador, el soporte de soldadura MIG refrigerado por agua con regulador de presión y sistema dosificador, instrumentos de mando para el gas protector y la corriente, la instalación de avance para el alambre, el cable de soldadura y los tubos de goma para el gas y el agua.

El electrodo de alambre se saca por tracción de la bobina y es conducido a través de un tubo flexible que lo guía hasta la pistola de soldar. Dependiendo de la aplicación, estos tubos pueden llegar a tener hasta 3 metros de longitud. En el caso de tener una pieza de grandes dimensiones, también existen dispositivos adicionales de aportación del alambre para poder alcanzar longitudes de hasta 30 metros.

La fusión del electrodo metálico se realiza con la fusión simultánea del material base de tal manera que, al mover el arco eléctrico sobre el extremo del electrodo y la pieza se forma una gota estrangulada en el extremo del electrodo que, al sobrepasar una intensidad de corriente específica determinada en la zona de estrangulación, por evaporación del puente de corriente es lanzada al lecho de fusión.

6. Simulación del chasis

6.1. Introducción

Para que el chasis del vehículo sea apto para circular por carretera es necesario someterlo a diferentes pruebas mecánicas de resistencia estructural. Esta fase de simulación tiene por objetivo analizar y validar la estructura para que tenga una resistencia y una rigidez mínima para aguantar todos los esfuerzos a los que puede estar sometida.

Se simularán los tres candidatos a chasis, concretamente, se analizarán las deformaciones producidas por los esfuerzos en orden de marcha, los cuales se describirán en apartados posteriores. Con estos datos se decidirá cuál es el chasis definitivo, pudiendo tener éste elementos de los otros candidatos, para así obtener una estructura óptima.

Una vez se tenga el chasis definitivo se simularán dos casos de carga: Orden de marcha y rigidez a torsión, los cuales se describirán en los apartados 6.2.4.1. y 6.2.4.2.

La realización de las simulaciones mencionadas se llevará a cabo mediante el *software* de cálculo por elementos finitos *Workbench* 2019 R1, que pertenece a ANSYS. Concretamente el diseño para las simulaciones se realiza en el módulo *Design Modeler* y las propias simulaciones en el módulo *Mechanical*.

Dado que el programa no arroja unidades sino datos numéricos es importante escoger un sistema de unidades coherente para analizar los resultados de forma adecuada. En la siguiente imagen se detallan las propuestas por *Workbench:*

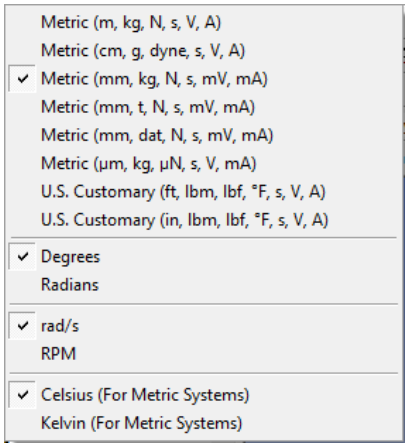


Figura 27. *Sistemas de unidades propuestos por Workbench*

Tal y como se puede ver en la imagen se ha escogido un sistema métrico decimal, con los múltiplos y submúltiplos que se detallan a continuación:

- Distancia: milímetro (mm)
- Masa: kilogramo (kg)
- Fuerza: Newton (N)
- Tiempo: segundo (s)

Se ha hecho esta elección ya que es conveniente utilizar los milímetros para medir distancias y los MPa para las tensiones. Por otra parte, aunque no son tan importantes, se han escogido las unidades de otros parámetros como pueden ser los ángulos (radianes), la velocidad angular (rad/s) y la temperatura (Kelvin).

Como es obvio, para trabajar con ANSYS *Workbench* es necesario tener una geometría. La metodología de trabajo ideal es diseñar ésta en un *software* de CAD e importarla a ANSYS para poder llevar a cabo las simulaciones, pero en este caso no ha sido posible debido a errores de compatibilidad. El procedimiento ha sido el siguiente:

- El diseño y renderizado final se ha hecho en *SolidWorks*, uno de los *software* de CAD más populares.

- Se ha vuelto a diseñar la misma estructura en ANSYS *Design Modeler*, el módulo de CAD que proporciona ANSYS, el cual permite hacer cualquier tipo de diseño, pero es menos sofisticado e intuitivo que un *software* de CAD al uso como es *Solidworks.*

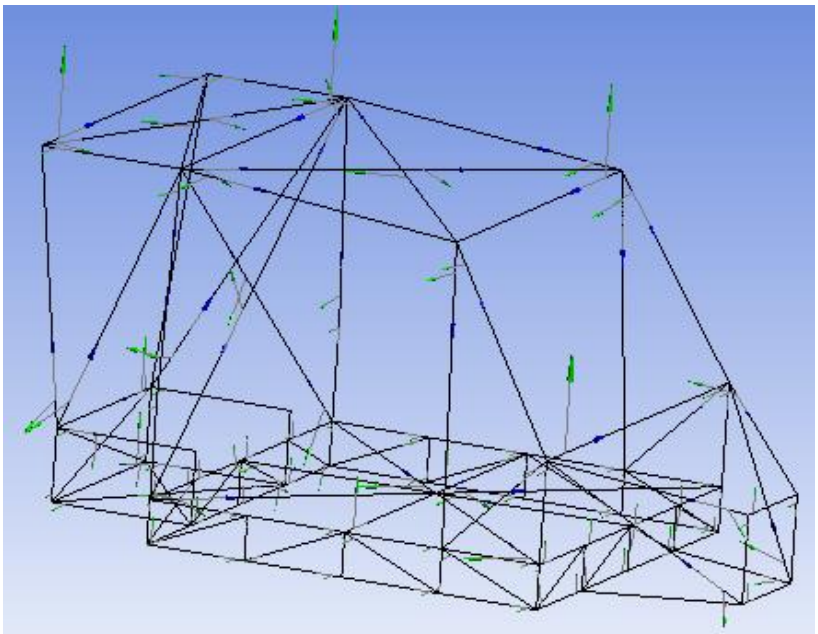


Figura 28*. Geometría realizada en DesignModeler*

El proceso de simulación mediante ANSYS se compone de tres fases. La primera fase se denomina *Preproceso* y se refiere a todas las acciones a llevar a cabo antes de la resolución de la estructura, como pueden ser la definición del tipo de elemento para el mallado, la elección de los materiales, el propio mallado de la estructura y las condiciones de contorno y cargas a las que está sometida. La segunda fase es la *Solución*, en ella el programa calcula mediante sistemas de ecuaciones de rigidez una solución dadas las restricciones que le hemos impuesto en la fase anterior. Por último, la tercera fase se denomina *Postproceso,* que comprende todas las acciones posteriores a la resolución del caso de estudio. ANSYS nos muestra los resultados que el calculista desea obtener, para su posterior tratado y análisis.

6.2. Preproceso

6.2.1. Tipo de elemento

Para que ANSYS pueda analizar la geometría diseñada se tiene que realizar un mallado de la misma (apartado 6.2.3.). Las mallas se componen de elementos finitos y es muy importante escoger el elemento adecuado para la estructura a estudiar y el tipo de simulación a realizar ya que simulan el comportamiento mecánico-estructural de la misma.

Dado que nuestra modelo es una estructura de barras de sección tubular, el elemento idóneo para discretizarla mediante el mallado es el BEAM188.

El elemento BEAM188 es útil para analizar estructuras del tipo viga esbelta o moderadamente gruesa. Está basado en la teoría de Timoshenko, que incluye los efectos de deformación a cortante. Tiene dos nodos y seis o siete grados de libertad en cada uno de ellos, lo que incluye desplazamientos en X, Y y Z y giros alrededor también de los ejes X, Y y Z. El séptimo grado de libertad es opcional, el cual tiene en cuenta la torsión.

Este elemento contiene ciertas propiedades como son la elasticidad, la plasticidad o la fluencia, que servirán para modelar el comportamiento de la estructura. También incluye por defecto rigideces en análisis de gran deflexión, las cuales permiten analizar los problemas de estabilidad o colapso de la estructura.

Fuente: ANSYS Mechanical APDL Help

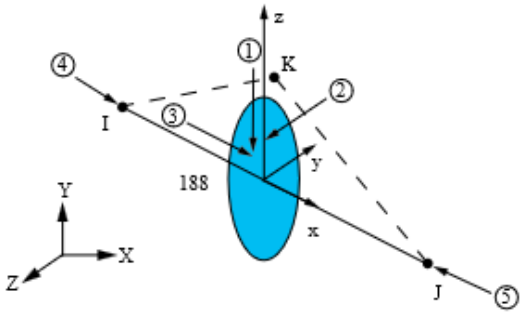


Figura 29. *Esquema ilustrativo del elemento finito BEAM188 (Fuente: ANSYS)*

6.2.2. Material

Como se ha comentado en el apartado 5.6. el material utilizado para la construcción del chasis tubular es el aluminio. Es necesario indicar al programa que simule todas las barras con dicho material dado que tiene una importancia clave en el comportamiento de la estructura.

Las propiedades del aluminio, que ya vienen registradas en *Workbench,* se enumeran a continuación:

- Densidad: ρ = 2770 kg/m^3
- Módulo de Young: E = 71000MPa
- Coeficiente de Poisson: υ = 0,33
- Módulo de cizalladura: G = 26692MPa
- Límite elástico a tracción/compresión: σ = 280 MPa / σ = 280 MPa
- Tensión de rotura: σ_R = 310 MPa

Los primeros parámetros, principalmente, definen las características y el comportamiento del material, mientras que las tensiones de límite elástico y de rotura, que también definen al material, nos ayudarán a evaluar si éste es adecuado para la estructura cuando está sometido a las cargas que impondremos, detalladas en el apartado 6.2.4.

6.2.3. Características del modelo FEM

Para poder analizar el modelo hace falta discretizarlo, es decir, asignar elementos finitos a toda la estructura, que originalmente es continua, para que *Workbench* pueda simular el comportamiento mecánico-estructural de la misma. A este proceso se le denomina comúnmente mallado.

El elemento que compone la malla del modelo es el BEAM188, que se ha descrito detalladamente en el apartado 6.2.1. Este elemento divide las barras en un número finito de cilindros y por tanto las discretiza. Se ha de conseguir que los resultados obtenidos sean independientes de la malla realizada y por tanto se refinará la misma hasta llegar a este punto. En la imagen siguiente se observa el refinamiento realizado en el modelo

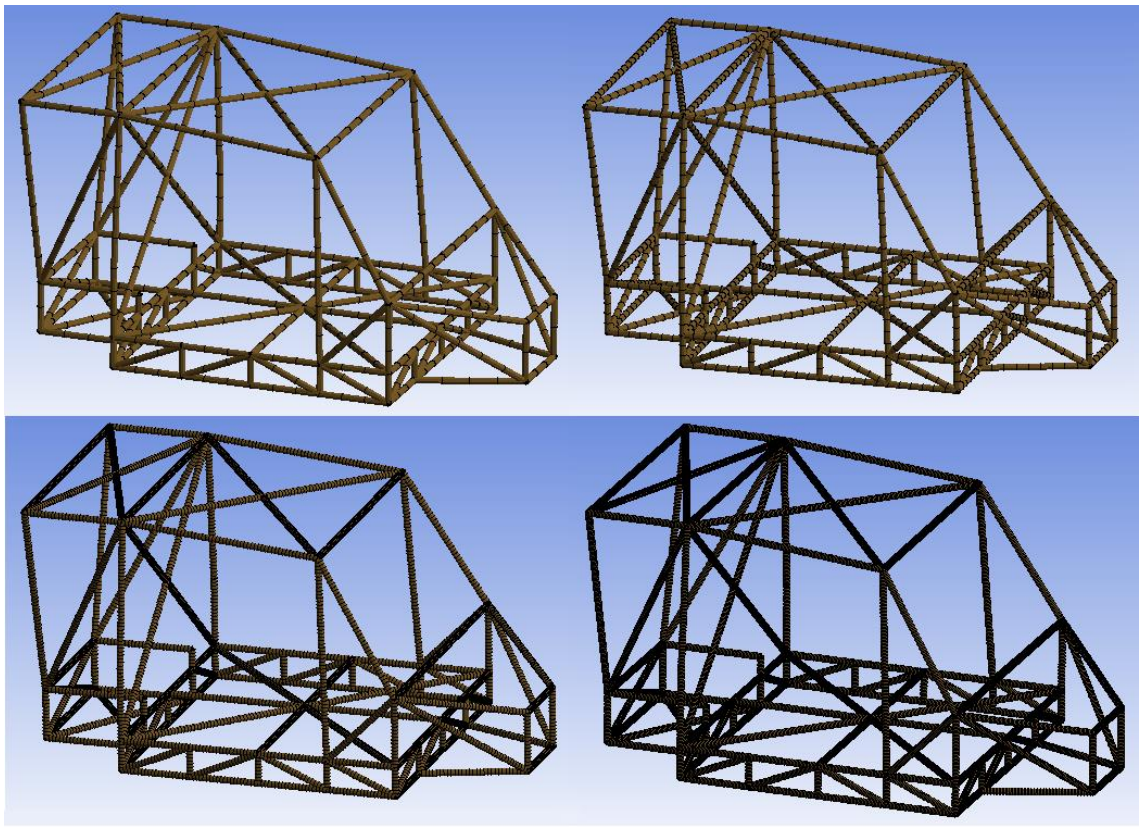


Figura 30. *Detalle del refinamiento de la malla*

Como se puede ver, la malla se va haciendo más pequeña, es decir, los elementos finitos que la componen cada vez son de menor tamaño, llegando a ser de 8 mm cada uno. En términos generales, la malla se compone de 8821 elementos y 17564 nodos, los cuales son puntos de referencia de cálculo para el programa.

6.2.4. Casos de carga

Para que *Workbench* pueda realizar las simulaciones se le deben indicar las cargas a las que está sometido el modelo a estudiar. Estas cargas deben de ser iguales o muy aproximadas a las que tendrá la estructura en la realidad, para poder obtener unos resultados fiables. A continuación, se describen los dos casos de carga que se simularán:

6.2.4.1. Resistencia en orden de marcha

Este caso de carga permite reproducir todas las fuerzas a las que está sometido el chasis cuando el vehículo está estático, suponiendo a dos ocupantes de 100kg cada uno, con un factor de seguridad de 1,5 y el maletero con bultos de unos 40kg. Se tienen en cuenta todos los elementos soportados por la estructura y su peso propio mediante la simulación de la gravedad.

Se han estimado las masas que soporta el chasis en estas condiciones y posteriormente se han convertido a fuerzas mediante la siguiente fórmula, siendo la gravedad 9,81 m/s^2:

$$F = mg \ \ [N] \qquad \textbf{(Ec. 6.1)}$$

Las masas que se tienen en cuenta son las siguientes:

- Grupo propulsor: 41 kg (402,2 N)
- Baterías: 300 kg (2943 N)
- Ocupantes: 300 kg (2943 N)
- Maletero: 40 kg (392,4 N)

Como se ve en la imagen siguiente, se ha estimado la localización de actuación de cada fuerza. El grupo propulsor se sitúa en la parte posterior del vehículo, apoyado en el marco inferior, mientras que todo el peso del maletero recae en la misma localización, pero en el marco superior. El conjunto de baterías, el elemento de mayor peso, va anclado en la parte inferior del marco principal para facilitar su montaje y desmontaje y, por otra parte, todo el peso de los ocupantes recae también sobre el marco principal, pero en su parte superior. Por último, el peso propio del chasis se simula mediante la gravedad, actuando sobre el conjunto de la estructura.

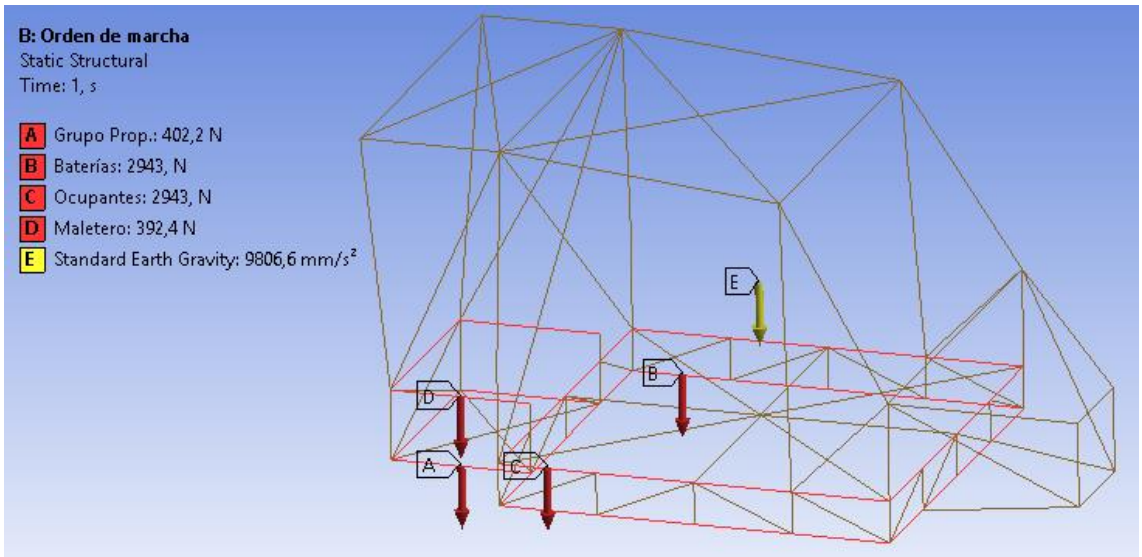


Figura 31. *Posición de las diferentes fuerzas que actúan en el chasis*

6.2.4.2. Rigidez a torsión

Una de las características más importantes de cualquier chasis, sea del tipo que sea, es su rigidez a torsión. Este término se refiere a la resistencia que opone la estructura a girar en el eje en el que se le aplica el momento torsor. Por tanto, cuanto mayor sea el valor de este parámetro, más rígido será el chasis. Las unidades más habituales que se utilizan para su medición son Nm/°, esto es, Newton-metro sobre grado, que indica cuánto par torsor se necesita para que la estructura se desplace un grado sobre su eje longitudinal.

La rigidez torsional del chasis tiene un impacto directo sobre dos aspectos primordiales para el rendimiento de cualquier vehículo:

1. Para asegurar la percepción de que el chasis es una estructura sólida y minimizar las deformaciones relativas, que pueden causar holguras y pequeños sonidos.

2. Para asegurar una maniobrabilidad óptima, el chasis debe ser rígido torsionalmente con respecto a la rigidez de la suspensión.

Es muy importante señalar que los valores de fuerza que se han aplicado a la estructura han sido tomados intuitivamente, ya que carece de importancia su magnitud si tenemos en cuenta que el resultado que nos interesa obtener dependerá de la deformación sufrida y, consecuentemente, del esfuerzo aplicado. Se realiza de tal manera dado que no hay ninguna

norma que dictamine el procedimiento para la realización de la prueba, sino que es cada fabricante que realiza sus propios ensayos y proporciona el resultado final al público[1].

Es por esto que, para tener una referencia sobre la viabilidad del resultado, se han consultado las rigideces pertenecientes a vehículos del mismo segmento que el nuestro proporcionadas por los fabricantes. Los valores consultados se encuentran entre 10.000 Nm/° y 20.000 Nm/°, por lo que si nuestro resultado está dentro de este intervalo se considerará óptimo.

Para llevar a cabo este ensayo se realizará la siguiente configuración: se introducirán soportes fijos en tres de los cuatro extremos que conforman la estructura, manteniendo uno libre donde se le aplicará una carga vertical generando un momento torsor, tal y como podemos observar en la figura 32:

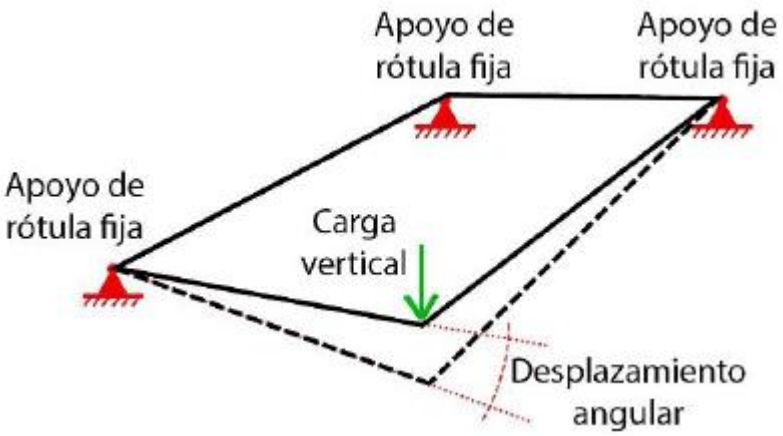


Figura 32. *Esquema ilustrativo del ensayo de rigidez a torsión*

Para el cálculo de este parámetro se realizará la siguiente fórmula, los parámetros de la cual también se esquematizan a continuación:

$$K_t = \frac{F \cdot w}{\alpha} \quad \left[{}^{Nm}/_{deg}\right] \qquad \textbf{(Ec. 6.2)}$$

[1] Información corroborada con personal cualificado del fabricante de automóviles SEAT.

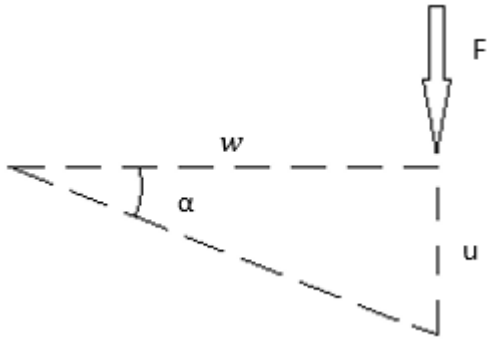


Figura 33. *Esquema de fuerzas para el cálculo de la rigidez torsional*

Donde:

- K_t es la rigidez torsional que se obtiene.
- F se refiere a la fuerza aplicada en la esquina delantera izquierda, con un valor de 20.000N.
- *w* es el brazo de palanca y por tanto es constante, cuyo valor es de 0,75 m.
- α es el desplazamiento angular que sufre la estructura.

Mediante la simulación con *Workbench* se extraerán la fuerza aplicada y el desplazamiento angular, para así poder realizar los cálculos necesarios.

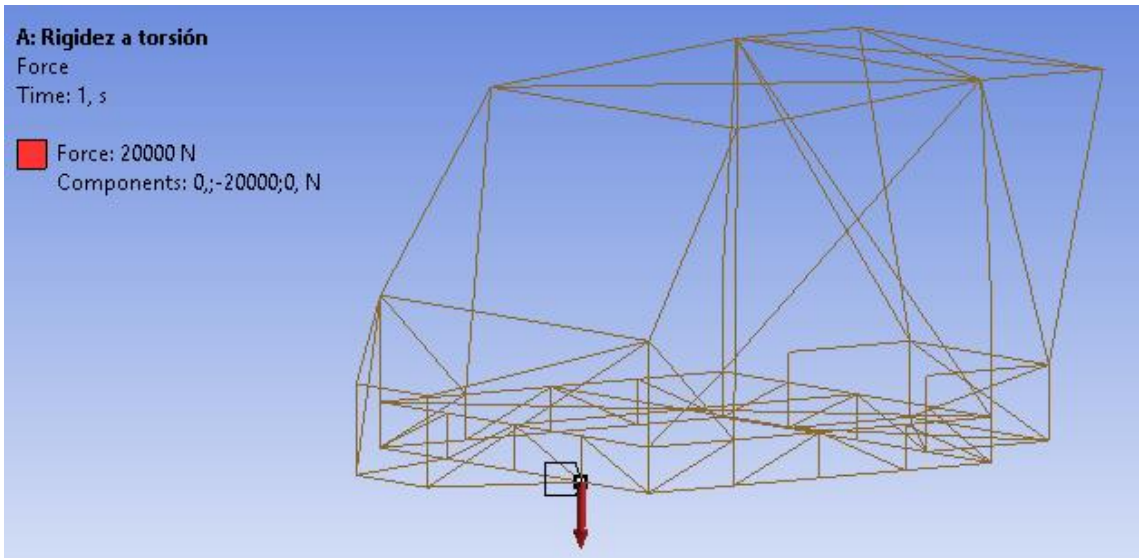


Figura 34. *Posición de la carga impuesta para crear el par torsor*

6.2.5. Condiciones de contorno

Análogamente a los casos de carga, también se le debe indicar a *Workbench* las condiciones de contorno de la estructura, es decir, las restricciones de movimiento que tendrá. Es necesario indicar estas restricciones por dos motivos: el primero es para que el modelo sea lo más parecido posible a la realidad, simulando exactamente todos los parámetros. El segundo es básicamente para que el *software* pueda calcular una solución ya que, si no imponemos ciertas restricciones matemáticas al modelo, no se puede resolver el sistema de ecuaciones de rigidez que plantea el programa.

6.2.5.1. Resistencia en orden de marcha

Para este caso de carga se han impuesto cuatro soportes fijos en cada uno de los extremos anterior y posterior del chasis, para que éste quede totalmente anclado, evitando así cualquier desplazamiento de la estructura que no sea el deseado, exceptuando el producido por las propias cargas que nos son de interés. Además, estos soportes fijos se encuentran muy cerca de la posición de las ruedas, por lo que la simulación es lo más verídica posible.

En la siguiente figura observamos la situación de los anclajes en el chasis tal y como se han descrito anteriormente:

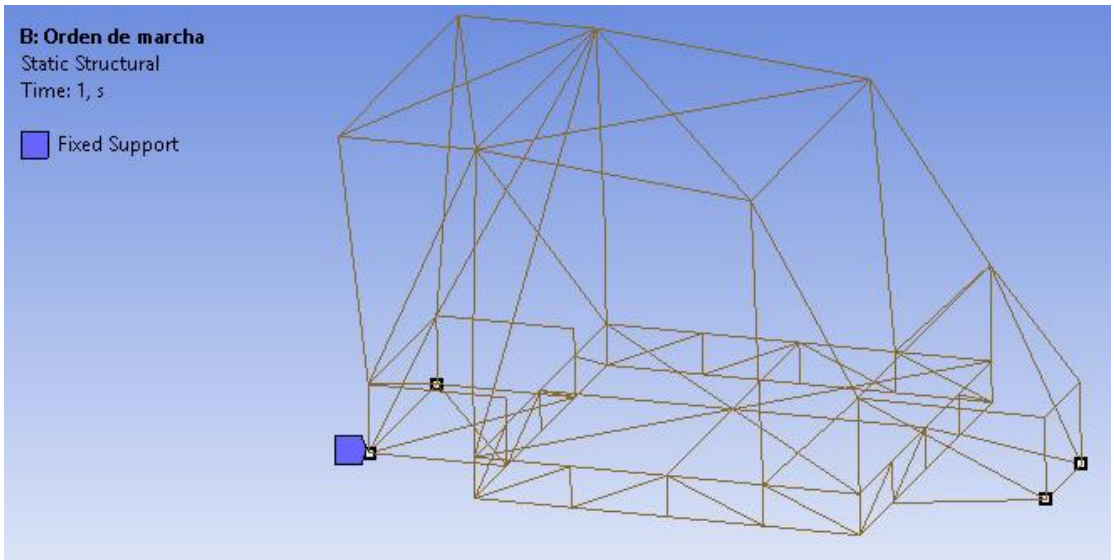


Figura 35. *Posición de los soportes fijos en la estructura*

6.2.5.2. Rigidez a torsión

Las restricciones impuestas para este caso de carga, como ya se ha introducido en el apartado 6.2.4.2., son también apoyos fijos en los extremos anterior y posterior de la estructura, no obstante, situando el apoyo del lado anterior en la jaula de protección para así distribuir mejor el par torsor en toda la estructura, pero esta vez dejando el lado anterior izquierdo libre para poder aplicarle una fuerza y crear un par de torsión en todo el conjunto.

A continuación, se observa la posición de los soportes fijos en el chasis, tal y como se ha hecho con el anterior caso de estudio:

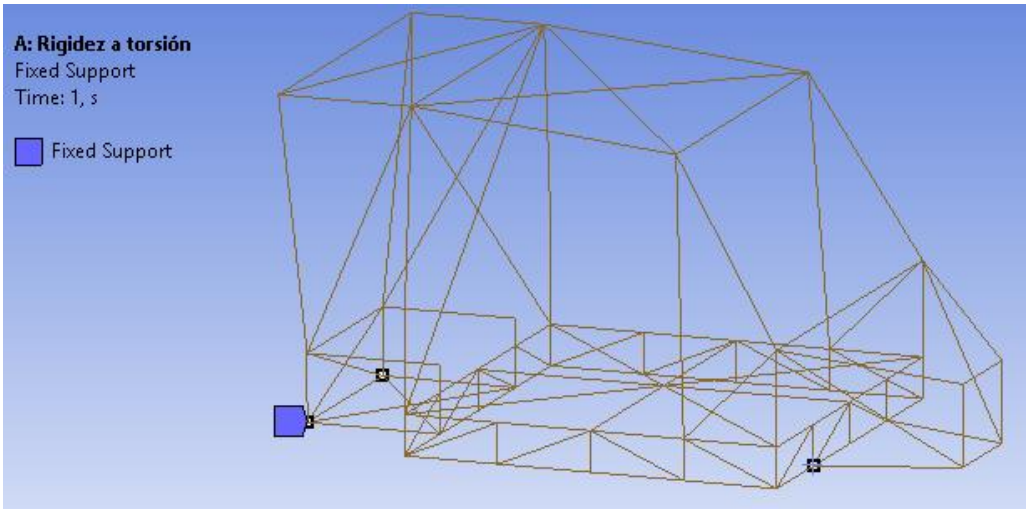


Figura 36. *Situación de los soportes fijos impuestos en el modelo*

6.3. Resultados de los candidatos a chasis

Como se ha comentado en el apartado 6.1., se realizarán simulaciones a los tres chasis diseñados. Se analizarán los desplazamientos direccionales en el eje Y (eje vertical), los cuales son los más significativos debido a las fuerzas que actúan sobre el vehículo. Únicamente se tendrán en cuenta los desplazamientos para decidir cuál será el chasis definitivo ya que se ha observado que los resultados de otros parámetros en cada uno de los tres candidatos son muy similares y están muy lejos de sus valores límite, como por ejemplo, las tensiones axiales de tracción y compresión. Es por esta razón que se ha realizado la toma de decisiones solamente en base a los desplazamientos, parámetro en el cual sí existe una mayor diferenciación entre los candidatos.

6.3.1. Chasis A

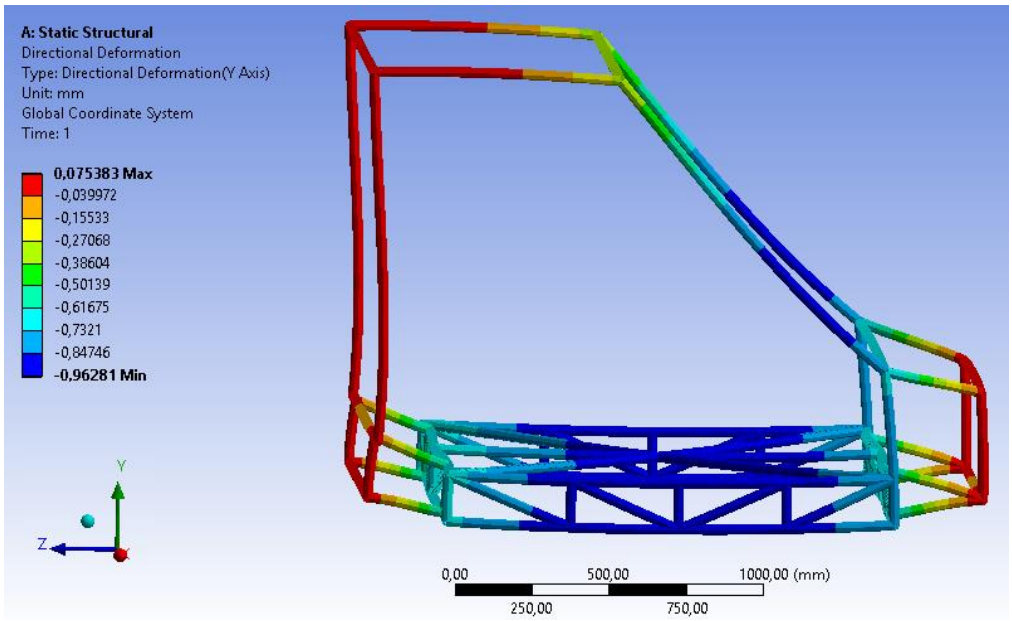


Figura 37. *Desplazamientos en el eje Y del chasis A*

La primera simulación se ha realizado con el chasis A. En la figura 37 observamos que no hay grandes desplazamientos en el conjunto, situándose los valores máximos en casi 1mm. Las deformaciones mayoritarias se encuentran en la jaula que protege a la batería. Era de esperar ya que se produce una acumulación de cargas en esa zona debido al peso de la batería y de los ocupantes. También hay picos de desplazamientos en los montantes anteriores principales, zona donde los refuerzos estructurales son minoritarios.

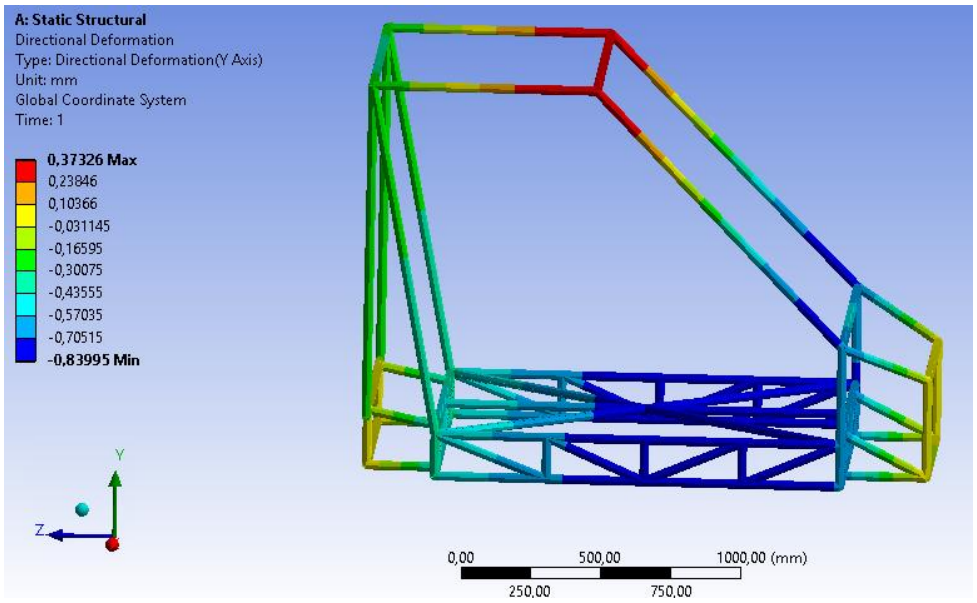


Figura 38. *Desplazamientos en el eje Y del chasis A reforzado*

Por otra parte, también observamos que las barras verticales posteriores sufren un cierto desplazamiento en el eje Z, por lo que se han introducido unos refuerzos en esa zona mitigando así tales deformaciones, que también fortalecen al espacio donde va ubicado el grupo propulsor.

En la figura 38 se incluyen los refuerzos mencionados anteriormente. Vemos como se ha reducido el valor máximo de deformaciones producidas y éstas se han desplazado hacia la parte delantera de la jaula de protección de baterías. Por otra parte, las barras traseras sufren igual deformación que en la versión anterior pero esta vez en sentido contrario, no obstante, toda la zona posterior queda más reforzada.

6.3.2. Chasis B

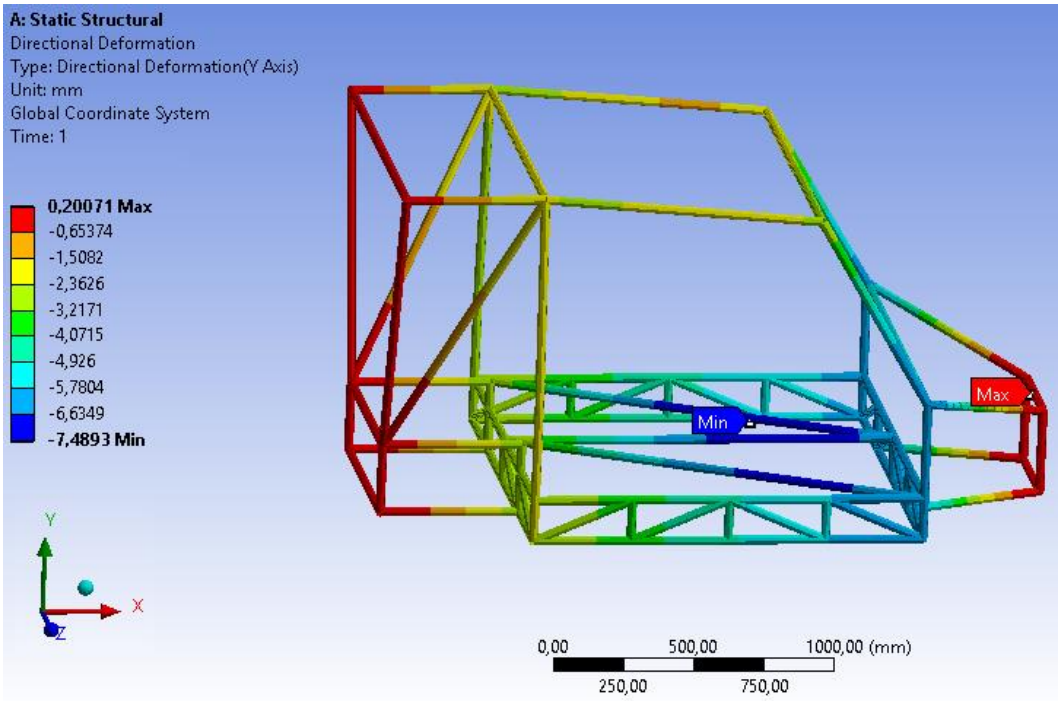


Figura 39. *Desplazamientos en el eje Y del chasis B*

En la figura 39 se pueden observar los resultados de la simulación del chasis B. En ella vemos que las deformaciones máximas también se producen en los refuerzos superiores de la jaula de baterías y la zona delantera de la estructura, llegando a ser de hasta siete milímetros y medio, valores muy superiores a los del chasis A en la misma zona. Esto puede ser debido a la

geometría de los refuerzos, observando que si los refuerzos son en estrella y no en zigzag sufren menos deformaciones.

Para mitigar los desplazamientos producidos en la zona en cuestión se han añadido unos refuerzos oblicuos en la parte anterior de la estructura, tal y como vemos en la figura siguiente:

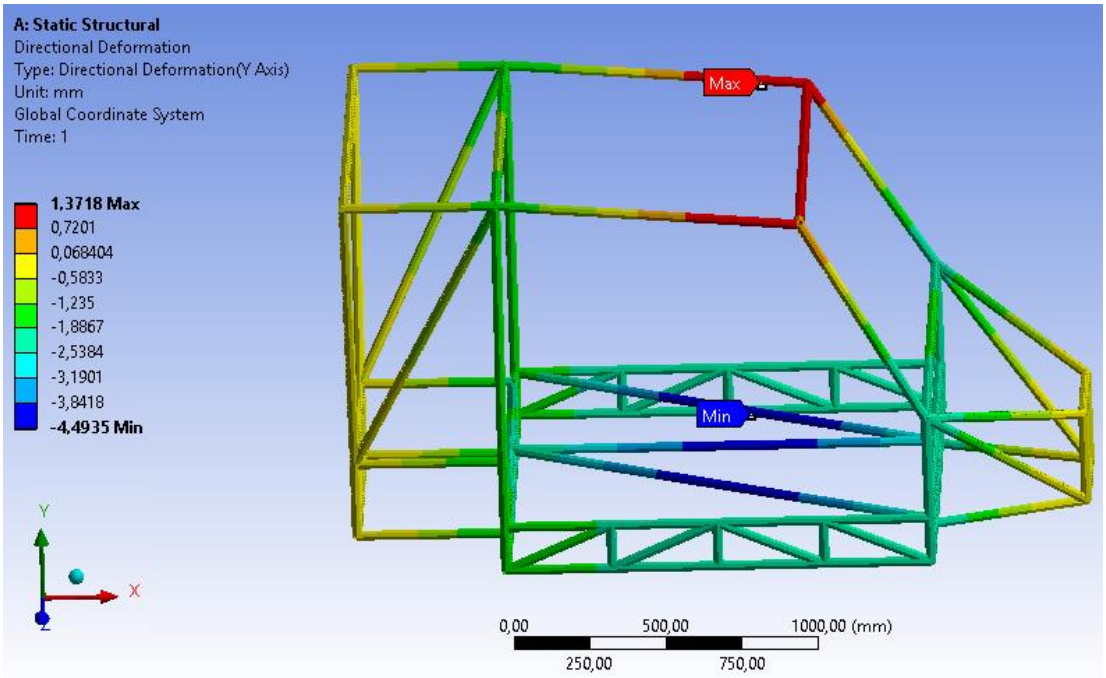


Figura 40. *Desplazamientos en el eje Y del chasis B reforzado*

Con la incorporación de estos refuerzos se han reducido los desplazamientos unos tres milímetros en la zona en cuestión, así como también se ha mejorado el conjunto de la estructura en la parte delantera, reduciendo en general las deformaciones respecto a su versión anterior. En conclusión, el chasis B sufre mayores deformaciones que el chasis A, debido principalmente a la geometría del refuerzo superior de la jaula de protección de la batería.

6.3.3. Chasis C

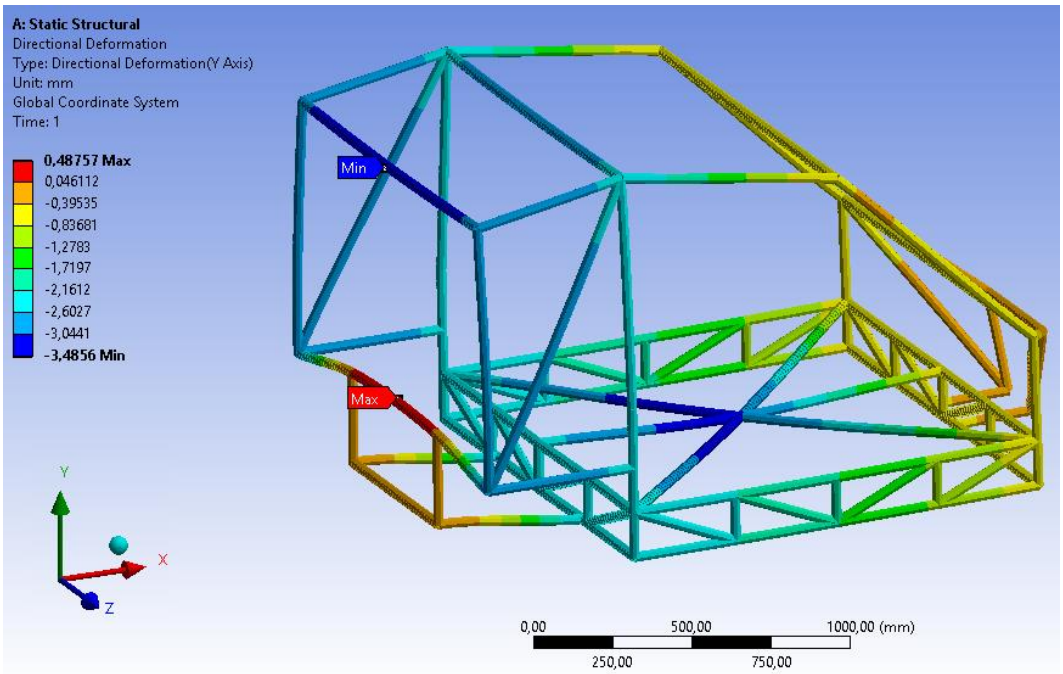


Figura 41. *Desplazamientos en el eje Y del chasis C*

Por último, se han realizado las simulaciones de los desplazamientos en el eje vertical del chasis C. La particularidad de esta estructura es el marco de la zona trasera, que como se ve en la figura 41, sufre grandes desplazamientos en sentido contrario al eje Y ya que existe una flexión importante en su parte inferior con respecto a otras zonas de la estructura, debido a que parte de este marco está en voladizo, soportando las cargas producidas por el maletero y el grupo propulsor.

Otra parte que también sufre picos de deformación es el refuerzo superior de la jaula de protección de la batería, que como se ha visto en todos los ensayos anteriores es una parte crítica en cuanto a deformaciones, ya que soporta gran parte del peso del vehículo. En general, los desplazamientos mayoritarios de este chasis están presentes en la parte trasera del mismo, con valores que se asemejan a los del chasis B ya reforzado.

Debido a la falta de espacio y a incompatibilidades con otros componentes del vehículo como pueden ser el eje trasero y/o las ruedas traseras no se han podido añadir refuerzos que subsanen las deformaciones en el marco posterior de la estructura, con lo cual no se puede realizar una versión mejorada del chasis C y la comparación con los otros chasis se hará con este mismo modelo.

6.3.4. Chasis definitivo

Una vez se han hecho las simulaciones y se ha analizado los tres modelos candidatos, se ha decidido que el chasis B es el que se adecua mejor a nuestras necesidades. Aunque es la estructura que sufre mayores deformaciones, su geometría se adapta en mayor medida al posicionamiento de los demás componentes del vehículo como pueden ser el grupo propulsor o los ejes anterior y posterior. Por otra parte, también es el modelo que incorpora un mayor número de barras de refuerzo, lo que aumenta la seguridad y, en una primera aproximación, se pueden llegar a obtener mejores resultados en las pruebas de rigidez torsional, parámetro clave en este tipo de estructuras.

No obstante, ha habido varias modificaciones importantes en la estructura hasta conseguir la versión final de la misma, obteniendo un peso final de 67kg:

1. Se ha cambiado por completo la geometría del refuerzo superior de la jaula de protección de la batería. Inicialmente el chasis B poseía este refuerzo en forma de zigzag y se ha substituido por uno en forma de estrella.

2. Se han añadido dos barras verticales en la parte delantera del marco principal. Este refuerzo permite reducir las dimensiones del marco y unir por más puntos las zonas superior e inferior del mismo, proporcionando mayor rigidez estructural. Además, se han añadido barras en forma de X en las dos secciones del techo, en la separación entre el maletero y el habitáculo y, por último, en la zona donde va alojado el grupo propulsor, por el motivo detallado anteriormente.

3. El grosor de pared de la sección tubular de las barras se ha augmentado. Hemos pasado de tener 2mm a tener 4mm de pared. De esta forma, las barras tienen mayor resistencia a flexión y a torsión, lo cual aumenta la rigidez estructural del chasis a costa de aumentar su peso.

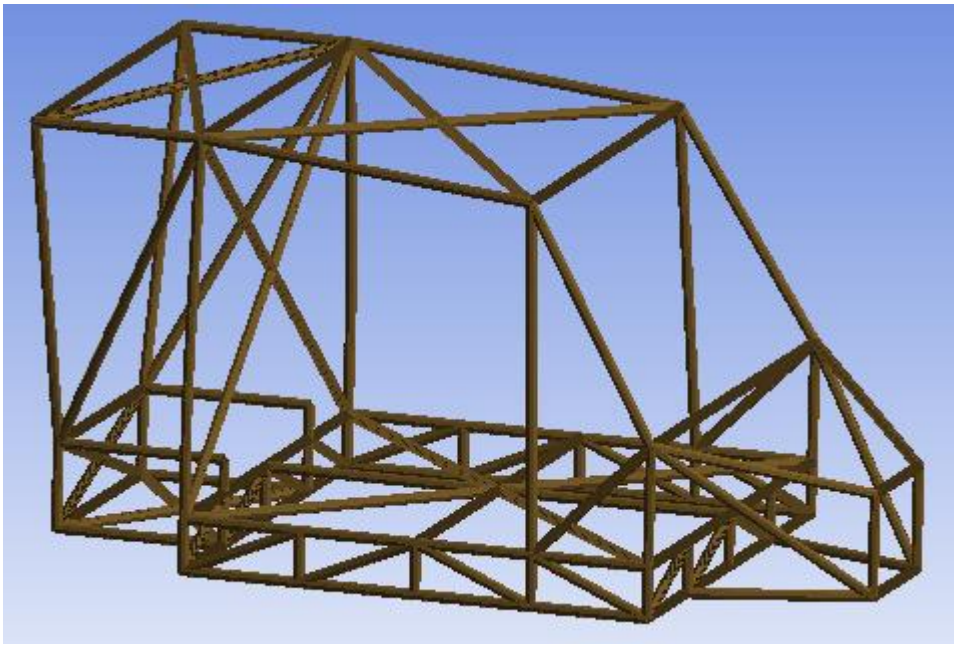


Figura 42. *Chasis definitivo del vehículo*

6.4. Resultados del chasis definitivo

En este apartado se muestra el estudio completo que se ha hecho al chasis que finalmente incorporará nuestro vehículo. Se simularán los casos de carga descritos con anterioridad y se analizarán diversos parámetros como la tensión axial, la tensión normal asociada al momento flector, los desplazamientos y la rigidez torsional.

6.4.1. Resistencia en orden de marcha

6.4.1.1. Tensión axial

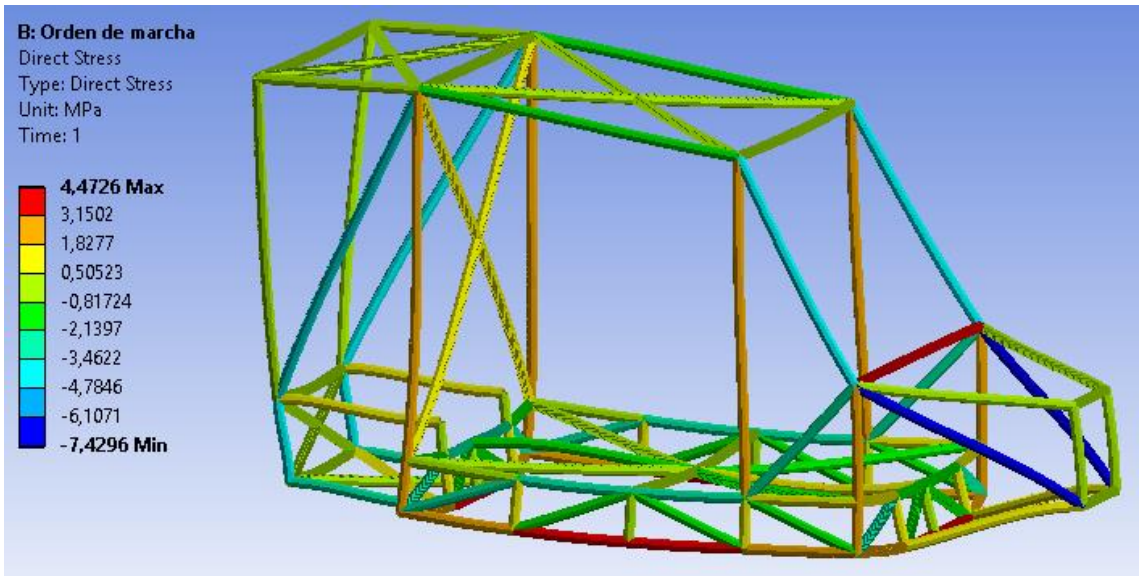


Figura 43. *Tensiones axiales en orden de marcha*

Los primeros resultados que observamos en esta simulación son las tensiones axiales (*direct stress),* las unidades de las cuales se muestran en MPa, esto es, N/mm2. La imagen anterior y todas las que le seguirán, muestran una escala de deformación x200 para apreciar mejor el comportamiento de la estructura.

El valor máximo de tensión son 7,43 MPa a compresión (color azul), que se encuentra en las barras de refuerzo oblicuas del extremo anterior del chasis. No es extraño que aparezca la tensión máxima en este punto ya que la función de esas barras es evitar que el morro del chasis se deforme en exceso. Si comparamos el resultado obtenido con el límite elástico a compresión del aluminio (280 MPa), podemos decir que el material resistirá perfectamente

bajo estas condiciones ya que sufre tensiones muy por debajo de comenzar a deformar plásticamente.

Por otro lado, las tensiones máximas a tracción son de alrededor 4,5 MPa, aún menores que a compresión, situadas en diversas barras de la estructura, sobre todo en la jaula de protección de baterías. También son valores que no hacen peligrar la integridad de la estructura ya que el límite elástico a tracción del aluminio es igual que el de compresión (280MPa) y por tanto las cargas impuestas están aún muy lejos de forzar a la estructura.

6.4.1.2. Tensión normal del momento flector

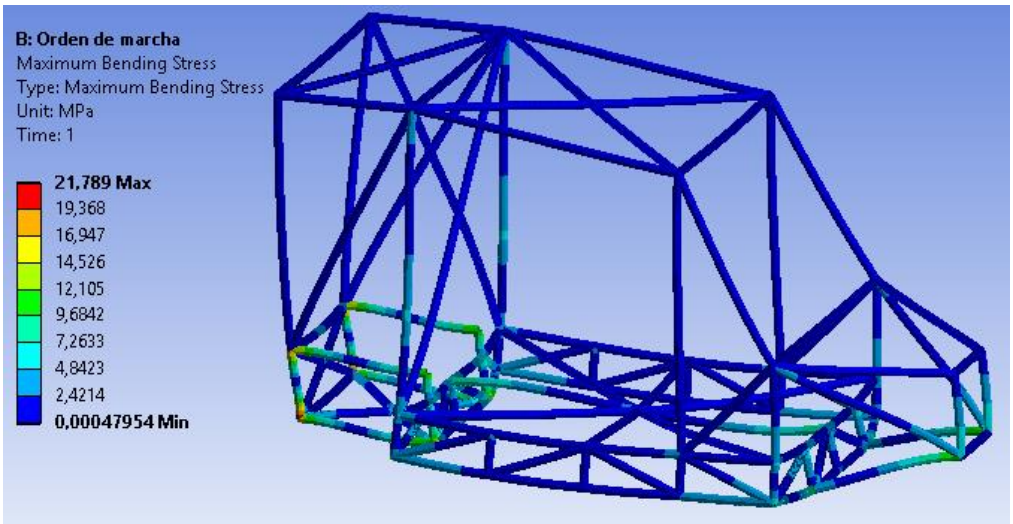


Figura 44. *Tensiones normales debidas a los momentos flectores en orden de marcha*

Siguiendo con el análisis, se estudian las tensiones normales que aparecen en los tubos provocadas por los momentos flectores que se generan. Como podemos observar, en casi todo el conjunto de la estructura no se supera el medio kilopascal de tensión, por tanto, podemos decir que los momentos flectores que se generan en este caso de carga afectan de manera muy pequeña a dicha estructura. No obstante, sí que hay algunas barras sobre todo en los extremos anterior y posterior del chasis que se encuentran más tensionadas, llegando a 6,7 MPa aproximadamente, valores aún muy lejanos al límite elástico del material y sin comportar ningún riesgo a dicho chasis.

Los valores máximos que nos muestra la imagen, de 22 MPa aprox., se tienen que descartar ya que aparecen justamente en los puntos donde hemos restringido la estructura con un soporte fijo y por tanto dichos resultados se desestiman automáticamente del análisis.

6.4.1.3. Desplazamiento total y direccional

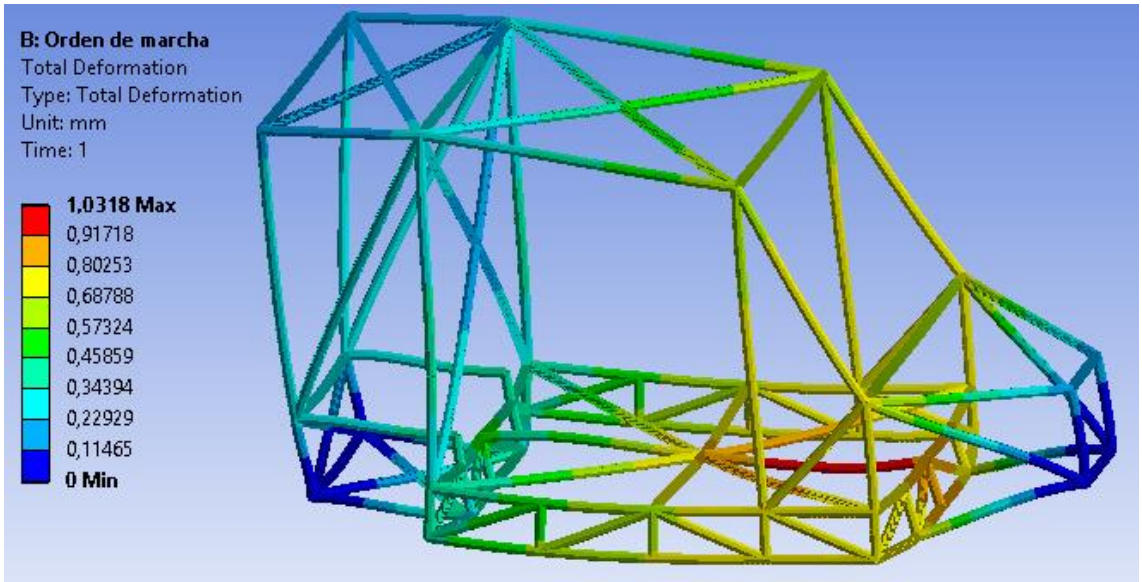


Figura 46. *Desplazamientos totales en orden de marcha*

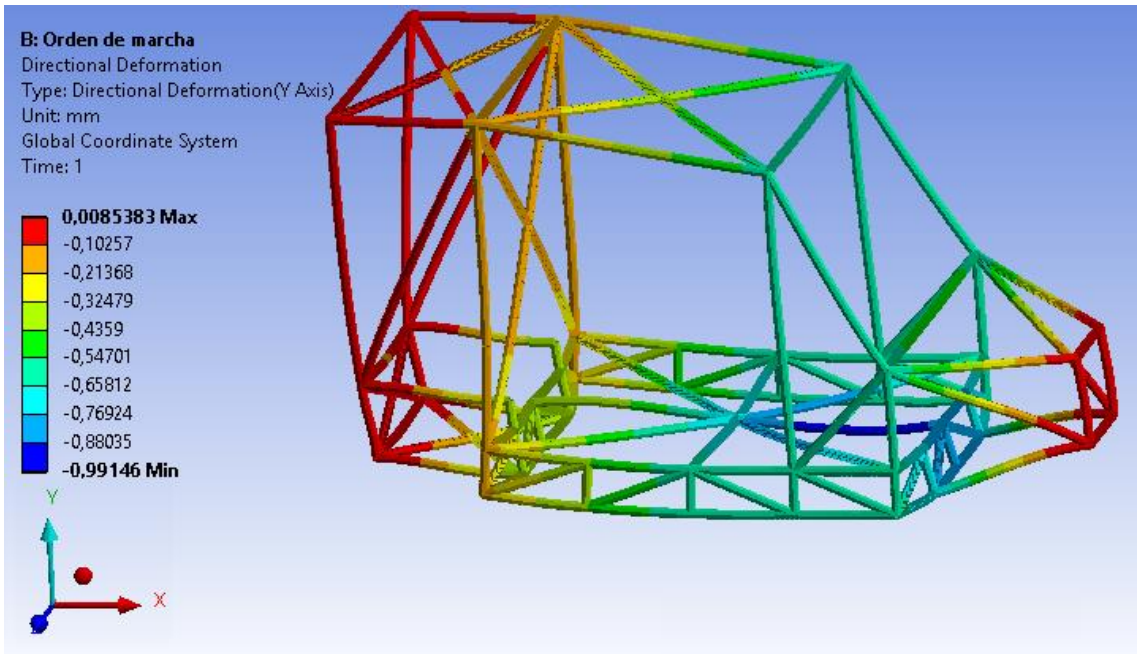


Figura 45. *Desplazamientos direccionales en orden de marcha*

Para acabar con este caso de carga se han analizado los desplazamientos totales y direccionales (eje Y) que sufre la estructura debido a las deformaciones producidas por las cargas. A parte de obtener resultados de deformación total, es interesante analizar también las producidas solamente en el eje Y ya que todas las cargas impuestas tienen esta misma dirección.

En referencia a los desplazamientos totales, observamos que alcanzan su valor máximo en una de las barras de refuerzo de la jaula de baterías, siendo éste de 1mm. Dicho valor es debido en esta zona media-anterior de la estructura ya que, aparte de soportar las cargas de las baterías y los ocupantes, es el extremo opuesto a la aplicación de las cargas debidas al grupo propulsor y el maletero, lo que hace a dicha parte más propensa al pandeo y por tanto expuesta a mayores deformaciones, aunque sean de valores pequeños.

Cabe decir que, para los dos casos de deformaciones analizados, es normal que en los extremos límite anterior y posterior la deformación sea nula o casi nula debido a la imposición de soportes fijos en la zona, para poder hacer las simulaciones correctamente, tal y como se ha dicho en el apartado anterior.

Por último, si hablamos de deformaciones direccionales en el eje Y encontramos valores similares en la zona media anteriormente comentada. Son valores que sus máximos no llegan ni al milímetro y en otras zonas de la estructura no llegan ni al medio milímetro, por tanto, el chasis bajo estas condiciones sufre deformaciones casi imperceptibles, lo que es un buen síntoma para una rigidez óptima.

6.4.2. Rigidez a torsión

6.4.2.1. Rigidez torsional

En este caso de carga sometemos a la estructura a esfuerzos de torsión, como se detalla en el apartado 6.2.4.2. Para poder extraer los datos con el fin de calcular la rigidez se tienen que simular los desplazamientos direccionales en el eje Y, ya que tenemos que saber la distancia en dicho eje que ha recorrido la estructura bajo la carga impuesta. Esta carga debe ser de un valor muy elevado para poner a prueba el chasis y hacer una estimación razonable de su rigidez.

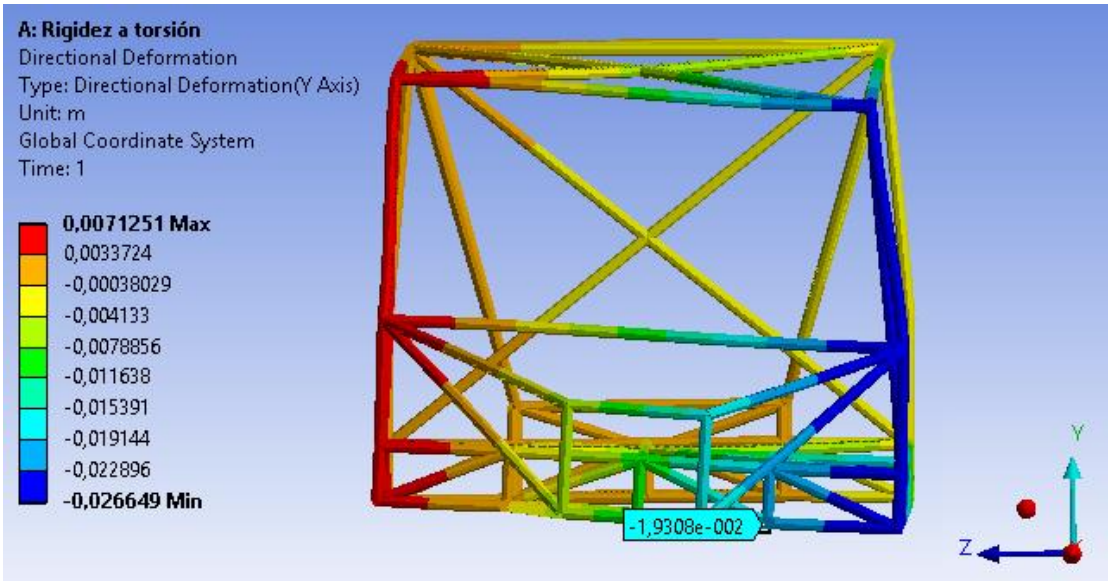


Figura 47. *Desplazamientos direccionales a torsión*

En la figura anterior podemos ver que el desplazamiento originado en el punto donde se aplica la carga es de 0,0193m. Según la nomenclatura utilizada en el apartado 6.2.4.2., se calcula el ángulo α de la siguiente manera, siendo el numerador 0,0193m y el denominador 0,75m:

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{u}{w} \qquad \textbf{(Ec. 6.3)}$$

Por tanto, teniendo el ángulo un valor de 1,47°, aplicando la Ec. (6.2), obtenemos una rigidez torsional de 10.204 Nm/°. El resultado se encuentra dentro del intervalo impuesto en el apartado 6.2.4.2., y por tanto se considera válido. No obstante, aunque el valor es óptimo, está muy cerca del límite inferior del intervalo, posiblemente debido a que la estructura está hecha de aluminio, material más flexible que el acero, el cual es más común para la realización de este tipo de estructuras y también dado a la imposibilidad de incorporar más refuerzos estructurales debido a que serían incompatibles con otros componentes del vehículo.

Una vez tenemos una estimación de rigidez a torsión del chasis se pueden valorar otros resultados obtenidos bajo estas condiciones de carga y comprobar si la estructura es óptima dada la rigidez anteriormente calculada.

6.4.2.2. Tensión axial

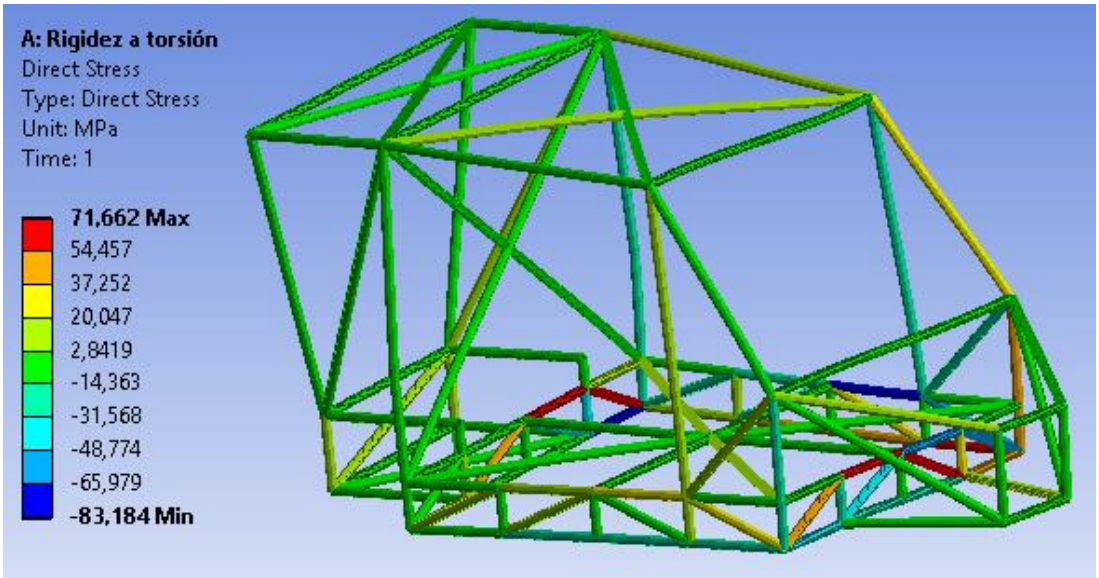


Figura 48. *Tensiones axiales a torsión*

Las tensiones axiales cuando la estructura está sometida a esfuerzos torsionales son de gran importancia. Observamos como dichas tensiones en casi todo el conjunto del chasis son negativas y por tanto son a compresión, de valores entre 0 y 31 MPa, aún muy lejos del límite elástico del material (280 MPa). El valor máximo de tensiones también es negativo y se encuentra en dos barras de la jaula de baterías. Dichas barras soportan 83 MPa de tensión, y por tanto también están lejos del límite elástico, lo que nos hace concluir que dado este par de torsión la integridad de la estructura no corre peligro.

6.4.2.3. Tensión normal del momento flector

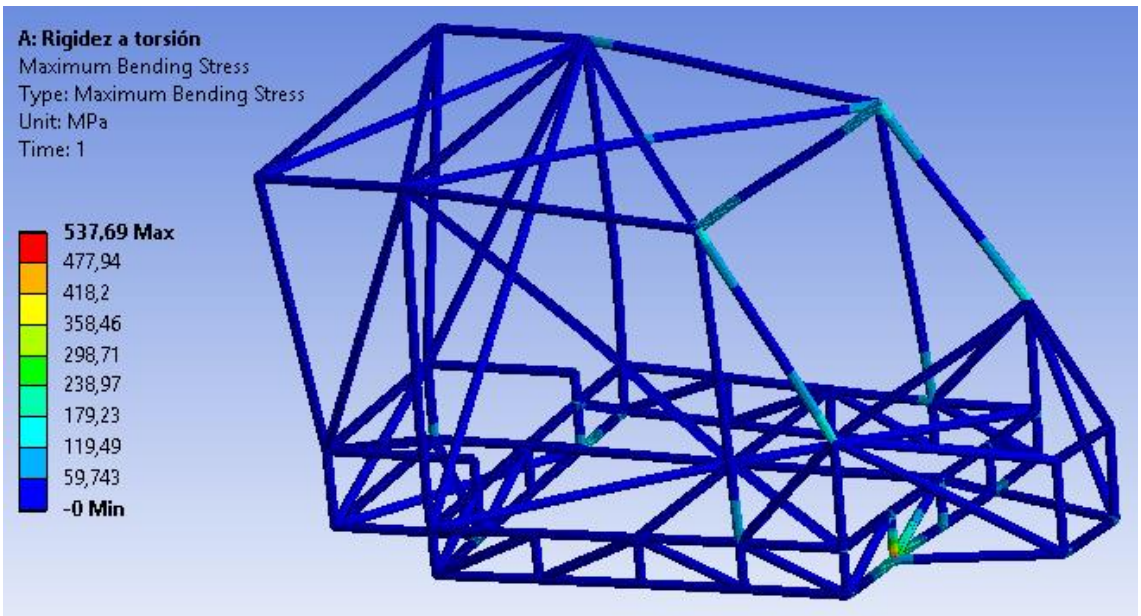


Figura 49. *Tensiones normales debidas a los momentos flectores a torsión*

Los últimos resultados que se analizan en este apartado son las tensiones normales provocadas por los momentos flectores bajo el par de torsión aplicado. Dichas tensiones son de valores muy bajos (casi nulos) en el conjunto de la estructura, salvo en el marco principal de la luna delantera, donde debido a la imposibilidad de poner refuerzos ya que dificultarían la visión del entorno, se crean tensiones ligeramente más elevadas en los vértices, de unos 120 MPa, aún a una distancia prudencial del límite elástico del material. Observamos que justamente en el lugar donde se ha colocado el soporte fijo para poder crear el par torsor hay picos en los valores de la simulación, y tal como se ha dicho en apartado anteriores, no se pueden tener en cuenta los valores que se encuentran justo donde se imponen las restricciones al modelo.

6.4.3. Conclusiones

Una vez realizadas las simulaciones para los dos casos de carga y analizados todos los resultados obtenidos podemos determinar que el chasis es viable para el vehículo diseñado, dadas las siguientes consideraciones:

- Las tensiones axiales mostradas eran de valores muy por debajo del límite elástico del material y por tanto no hay riesgo alguno de posibles deformaciones plásticas o incluso de roturas.

- Los momentos flectores también eran de valores muy bajos, lo que conlleva tensiones normales asociadas a estos momentos también de valores que no son de importancia.

El valor de rigidez torsional obtenido, pese a que es una aproximación teórica, ha sido muy aceptable para el tipo de material de construcción y los refuerzos que se han podido establecer en la estructura, que por culpa de la interacción con otros componentes del vehículo no han sido de un número excesivo, lo que da aún más validez al resultado obtenido.

7. Batería

Una batería está formada por un conjunto de celdas en cada una de las cuales se produce una reacción química reversible. Estos procesos químicos se conocen como reacciones *redox* o de reducción-oxidación. En esta reacción tiene lugar un intercambio de iones y electrones entre el polo positivo y el negativo, lo que genera una tensión entre ambos bornes de la celda.

Cada una de estas celdas que forma una batería consta de un cátodo (electrodo negativo), un ánodo (electrodo positivo) y un electrolito, que es el medio neutral que separa ambos electrodos y por el cual se produce la transferencia de carga dentro de cada celda. Cada celda, a su vez, está constituida por un paquete de placas positivas y negativas. Todas estas placas están separadas entre sí por unas láminas llamadas separadores que tienen como misión evitar el contacto entre unas placas y otras. El número y el tamaño de las placas están directamente relacionado con la cantidad de energía que se quiere almacenar, es decir, a mayor número de placas, más energía eléctrica se puede almacenar.

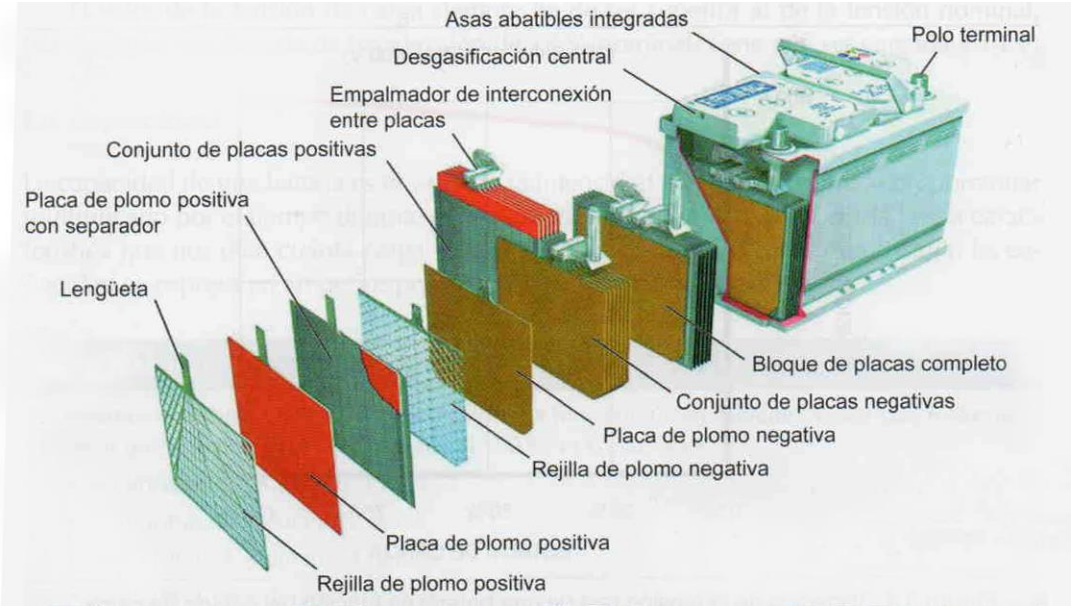


***Figura 50**. Componentes de una batería (Fuente: Vehículos eléctricos e híbridos)*

Las dos características principales que determinan las especificaciones de la batería (comportamiento, rendimiento y duración) son los elementos químicos involucrados en la reacción química dentro de cada celda y, por otro lado, la electrónica que controla los procesos de recarga y descarga.

7.1. Conexión de baterías

La conexión de baterías nos permite llegar a obtener un paquete de baterías con unas características fuera de lo común. Según el tipo de conexión que hagamos entre las diferentes baterías que forman el paquete, una o varias de las características de éste se verá incrementada en cierta medida.

7.1.1. Conexión en paralelo de baterías

La conexión en paralelo consiste en conectar por una banda todos los bornes positivos entre sí y por la otra banda conectar todos los bornes negativos de las baterías que conforman el paquete.

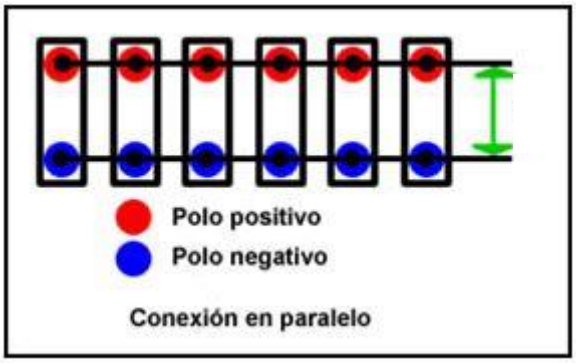


Figura 51. *Conexión en paralelo de baterías (Fuente: Autosolar)*

Hay que tener en cuenta que para realizar este tipo de conexión las tensiones nominales de todas las baterías han de ser iguales. No se pueden conectar en paralelo baterías que tengan tensiones nominales diferentes porque la batería con mayor tensión nominal se descargaría a través de la de menor tensión.

Cuando se realiza este tipo de conexión se obtienen las siguientes características totales:

- La tensión nominal total es la misma que la de cada una de las baterías que forman el ensamblaje.

- La capacidad total de la batería será igual a la suma de las capacidades de cada una de las baterías que se ha conectado entre sí.

- La intensidad máxima total se calcula como la suma de las intensidades máximas de cada una de las baterías.

7.1.2. Conexión en serie de baterías

Para conectar en serie un conjunto de baterías tenemos que conectar el borne positivo de la primera batería con el negativo de la siguiente, y así sucesivamente. Por tanto, los polos extremos serán los polos de nuestro sistema se baterías.

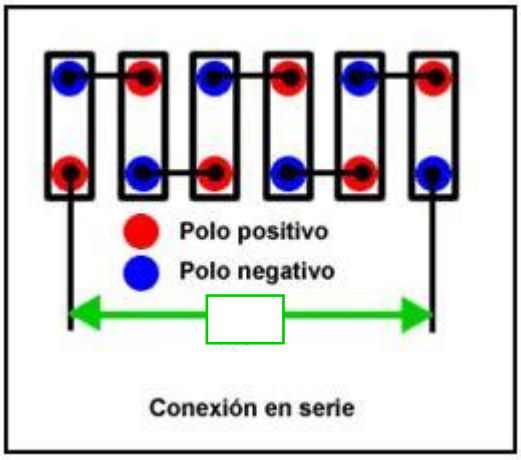


Figura 52. *Conexión en serie de baterías (Fuente: Autosolar)*

En este tipo de conexión no es necesario, tal y como pasaba en la conexión de baterías en paralelo, que las baterías tengan las mismas características.

Al realizar este tipo de conexión obtenemos una batería equivalente como:

- La tensión total es la suma de las tensiones subministradas por cada batería.
- La capacidad total del sistema será igual a la de la batería con menor capacidad empleada en el conjunto.
- La intensidad máxima del conjunto de baterías la marca aquella batería con la menor intensidad máxima.

Hay que tener en cuenta que, si las baterías utilizadas en el conjunto son diferentes entre ellas, cuando la batería de menos capacidad quede agotada, ésta actuará como aislante impidiendo así el paso de corriente por el circuito. Por ello, aunque puedan conectarse entre sí baterías diferentes, es recomendable usar baterías con las mismas especificaciones y optimizar así las prestaciones del sistema global.

7.1.3. Conexión mixta de baterías

Este tipo de conexión combina tanto las conexiones en paralelo como las conexiones en serie de baterías. Como hemos visto anteriormente, una conexión en paralelo nos permite obtener grandes capacidades e intensidades máximas en el sistema y una conexión en serie consigue aumentar la tensión total del sistema. Por tanto, si queremos conseguir altas tensiones con grandes capacidades e intensidades máximas a partir de baterías con características limitadas recurriremos a este tipo de conexión mixta de baterías.

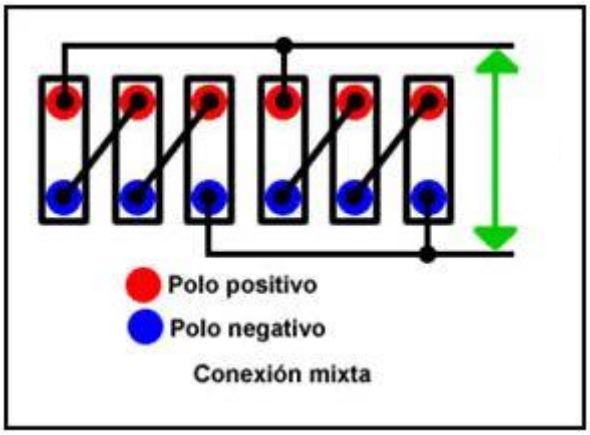


Figura 53. *Conexión mixta de baterías (Fuente: Autosolar)*

7.2. Tipos de baterías

7.2.1. Batería plomo-ácido

Se trata del tipo de baterías más usadas, pero al mismo tiempo son las más antiguas. Su única ventaja es el bajo coste y tienen como desventaja su excesivo peso, la toxicidad del plomo y su bajo rendimiento (entre un 70-75%). Se trata de una tecnología claramente superada hoy en día y por ello que no se utilizan este tipo de batería en los coches que se producen actualmente.

En las baterías de plomo-ácido tenemos un cátodo formado por dióxido de plomo, un ánodo donde encontramos plomo esponjoso y el electrolito es ácido sulfúrico disuelto en agua.

Tabla 2. *Reacción en el ánodo y el cátodo*

Electrolito	Ácido sulfúrico disuelto en agua
Química	Pb-ácido
Reacción en el ánodo (-)	$PbO_2 + 2H_2SO_4 + 2e^- \longrightarrow 2H_2O + PbSO_4 + SO_4^{2-}$
Reacción en el cátodo (+)	$Pb + SO_4^{2-} \longrightarrow PbSO_4 + 2e^-$

7.2.2. Baterías de Níquel

Las baterías de níquel llevan muchos años en desarrollo, por lo que su tecnología es ya considerada como muy madura. La química del níquel no presenta peligro de explosión ya que es muy estable y no utiliza componentes potencialmente peligrosos. Muestran problemas de efecto memoria, es decir, si la batería no está completamente descargada cuando se vuelve a cargar, su capacidad de carga habrá disminuido debido a la presencia de la carga parcial. Es necesario el uso de un sistema de refrigeración ya que con el uso se calientan y pueden llegar a degradarse. Hay que tener en cuenta también que la química del níquel presenta una autodescarga de un 20% mensual y es contaminante.

A continuación, se enumeran las baterías del grupo del níquel y se detallan algunas de sus características:

- **Baterías Níquel-Hierro**

  Nos encontramos ante un tipo de batería muy parecido a las de plomo-ácido en lo que a densidad energética se refiere. Es una batería muy robusta, por lo que es tolerante al abuso (descarga profunda, sobrecarga y cortocircuitos) y puede tener muy larga vida, aun si es usada con dicho abuso. Carecen de potencia y eficiencia, su coste de producción es alto y tienen obsolescencia programada.

  En estas baterías el electrodo positivo es de níquel sumergido en un electrolito de hidróxido de potasio y el material activo del electrodo negativo lo conforma el hierro. El hierro en este caso tiene diferentes ventajas como puede ser su bajo coste y su alta estabilidad mecánica y electroquímica.

Tabla 3. *Reacción en el ánodo y el cátodo*

Electrolito	KOH en disolución de agua
Química	Ni/H_2
Reacción en el ánodo (-)	$H_2 \rightarrow H_2O$
Reacción en el cátodo (+)	$NiOOH \rightarrow Ni(OH)_2$

- **Baterías de Níquel-Cadmio:**

  El coste de este tipo de batería es elevado, tienen un gran comportamiento en un amplio margen de temperaturas y su energía específica es elevada. Es un tipo de batería muy robusta y tienen una gran fiabilidad. Debido a la presencia de cadmio este tipo de batería es altamente contaminante y obliga a aumentar la eficiencia en el reciclado de estas baterías una vez que quedan fuera de servicio.

  En estas baterías el electrodo positivo es de níquel sumergido en un electrolito de hidróxido de potasio y el material activo del electrodo negativo lo conforma el cadmio. En el electrodo positivo se produce oxígeno, que alcanza el electrodo negativo formando hidróxido de cadmio según podemos ver en la tabla 3:

Tabla 4. *Reacción en el ánodo y el cátodo*

Electrolito	KOH en disolución de agua
Química	Ni/Cd
Reacción en el ánodo (-)	$Cd \rightarrow Cd(OH)_2$
Reacción en el cátodo (+)	$NiOOH \rightarrow Ni(OH)_2$

- **Baterías Níquel-Hidruro metálico**

  Son similares al anterior tipo de baterías mencionado pero mejoradas, ya que reducen el efecto memoria y aumentan la capacidad de éstas. La densidad energética es la más elevada del grupo de baterías de níquel, superando ya ampliamente las de plomo. Las desventajas son su constante mantenimiento y su deterioro frente a altas temperaturas, altas corrientes de descarga o sobrecargas. Además, generan mucho calor, se recargan lentamente y tienen una baja eficiencia (del 60-70%) y un bajo rendimiento a altas temperaturas.

  En estas baterías el electrodo positivo es de níquel sumergido en un electrolito de hidróxido de potasio y el material activo del electrodo negativo lo conforma una aleación de hidruro metálico.

Tabla 5. *Reacción en el ánodo y el cátodo*

Electrolito	KOH en disolución de agua
Química	Ni/HM
Reacción en el ánodo (-)	$LaNi_5H_6 \rightarrow LaNi_5$
Reacción en el cátodo (+)	$NiOOH \rightarrow Ni(OH)_2$

7.2.3. Baterías de Ion-Litio

Este tipo de baterías es el más extendido actualmente cuando se busca que estas posean un mínimo peso y volumen. El uso del litio hace que no tengamos el efecto memoria, que carezcan de mantenimiento y sean fácilmente reciclables siempre y cuando se tenga mucho cuidado en el proceso de reciclaje ya que la contaminación que produce esta química es por metales tóxicos y está considerada como muy grave.

Otros puntos a favor son los valores muy altos de potencia y densidad energética, el amplio rango de temperaturas de funcionamiento y la baja tasa de auto descarga. También tienen desventajas, la principal es su coste de producción, aunque poco a poco se va reduciendo y presentan el efecto de envejecimiento, esto es, la capacidad de la materia se ve reducida, tras

una carga completa no presenta la misma capacidad, ésta ha disminuido por la formación de dendritas (irregularidades en la química interna de las placas). Además, son frágiles y pueden explotar por el sobrecalentamiento, por lo que necesitan un ambiente frío o un sistema de refrigeración.

En las baterías de litio, el electrodo negativo está constituido por el litio metálico y el electrodo positivo por un compuesto que actúa como anfitrión durante la reacción de inserción. El electrolito es sal de litio en disolvente orgánico.

Tabla 6. *Reacción en el ánodo y el cátodo*

Electrolito	KOH en disolución de agua
Química	Ion-Litio
Reacción en el ánodo (-)	$Li \rightarrow Li^+ + 1\ e^-$
Reacción en el cátodo (+)	$xLi + x\ e^- + A \rightarrow LixA$

7.2.4. Baterías de sodio

La escasa experiencia que se tiene con la química de este tipo de baterías hace que se las considere como poco maduras. La contaminación que se produce es debida al sodio y al cloro y está considerada como media, por lo que se debe tener cuidado con su reciclaje. La química del sodio es muy estable, por lo que no presenta peligro de explosión. La temperatura de trabajo de este tipo de baterías es muy elevada, entre 270 y 350 ^{o}C, y se requiere un sistema de calefacción específico para las baterías.

Además, este tipo de baterías no presenta problemas de efecto memoria, tiene muy pocos problemas de envejecimiento y presentan una autodescarga muy baja. El coste económico de las baterías de sodio es elevado debido, sobre todo, al proceso de fabricación, ya que la mayoría de los materiales que se emplean son fácilmente accesibles.

A continuación, se muestran las dos variantes de este tipo de baterías:

- **Baterías de sal fundida**

  También se las denomina baterías ZEBRA, este tipo de baterías trabaja a 250°C y alcanza unas cifras de energía y potencia interesantes. El hecho de que tenga una temperatura de funcionamiento tan elevada hace que ésta no se vea afectada por la temperatura ambiente del lugar. Por el contrario, tiene un gran contenido químico, lo que comporta un gran volumen de ésta.

  Después de un período más o menos prolongado de no utilización (3 días), la solidificación del electrolito causa que la batería pueda tardar hasta dos días en llegar a la temperatura óptima de trabajo y ofrecer plenamente su carga ya que el electrolito necesita un tiempo de fundición en el caso de no tener instalado un sistema de calefacción que nos mantenga la temperatura de la batería.
  El electrodo negativo es el sodio mientras que el positivo es el níquel cuando la batería está descargada y el cloruro de níquel cuando está descargada. El electrolito es alúmina en forma cerámica.

  La reacción en las baterías ZEBRA es la siguiente:

Tabla 7. *Reacción en el ánodo y el cátodo*

Electrolito	KOH en disolución de agua
Química	$Na/NiCl_2$
Reacción en el ánodo (-)	$Na \rightarrow Na^+$
Reacción en el cátodo (+)	$NiCl_2 \rightarrow Ni$

La alta temperatura de trabajo es debida a que el conjunto de NaNiCl funde a 157 °C. Si las comparamos con las anteriores baterías éstas tienen el mejor ciclo de vida, pero una menor potencia y ocupan un mayor volumen.

- **Baterías de Sodio-Azufre**

Es un tipo de batería de sal fundida que posee alta densidad de energía, una alta eficiencia de carga-descarga (entre 89 y 92%) y un largo ciclo de vida.
Los dos electrodos de la batería están separados por un electrolito en cerámica (alúmina), capaz de conducir iones. El electrodo negativo es el sodio y el positivo es el azufre. La reacción química en cada electrodo es la siguiente:

***Tabla 8**. Reacción en el ánodo y el cátodo*

Electrolito	KOH en disolución de agua
Química	Na/S
Reacción en el ánodo (-)	$Na \rightarrow Na^{+}$
Reacción en el cátodo (+)	$S \rightarrow S_3^{2-}$

La temperatura de trabajo de este tipo de baterías es muy elevada debido a que es necesario que los dos componentes estén en estado líquido para que se produzca la reacción, lo cual sucede a partir de 98ºC para el sodio y a partir de 113ºC para el azufre. Aun así, debido a la estructura propia de las moléculas de azufre, que forman grandes cadenas, tiende a calentarse hasta temperaturas que pueden llegar a sobrepasar los 300ºC.

7.3. Línea futura de baterías

7.3.1. Pilas de metal-aire

En este caso, no podemos hablas de baterías porque no poseen un proceso químico para recargarlas. Cuando este tipo de pilas se descarga hay que reponer todo el metal que la forma.

Las pilas están formadas por un depósito en el que se encuentra el bloque de metal y constituye el polo positivo (actualmente se está ensayando con aluminio), un electrolito formado por agua y sal y en un lateral se encuentra una lámina semipermeable que constituye el polo negativo. Al otro lado de la placa semipermeable hay una cámara que contiene oxígeno, el cual se va renovando continuamente.

Según los datos obtenidos de pruebas que se están realizando actualmente con bloques de aluminio, este tipo de baterías permiten recorrer distancias de más de mil quilómetros hasta tener que reponer el bloque de metal. El consumo de agua destilada es mucho mayor, pero se puede ser repuesto fácilmente por el usuario.

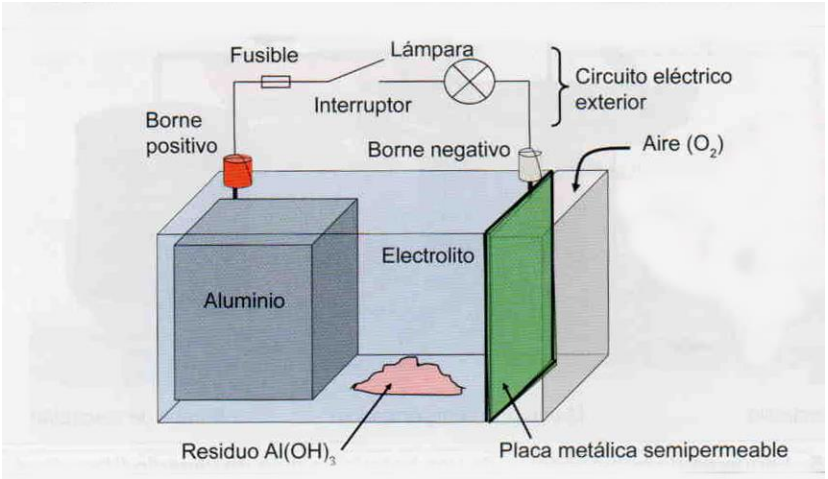


Figura 54. *Pila de metal-aire (Fuente: Vehículos eléctricos e híbridos)*

7.3.2. Baterías de flujo (*cross-flow*)

También llamadas baterías de flujo cruzado, constituyen una alternativa a las diferentes químicas que actualmente se están probando. El funcionamiento de este tipo de baterías consiste en un bloque que se encuentra dividido en dos depósitos. Por ambos depósitos circulan electrolitos de forma continua impulsados por sendas bombas desde los respectivos tanques de almacenamiento. Estos electrolitos son, para el primer circuito, dos compuestos de óxido de vanadio disueltos en agua y otros dos compuestos diferentes de óxido de vanadio también disueltos en agua para el segundo circuito. En el interior de los depósitos se encuentra una placa metálica que actúa en un caso como electrodo positivo y en el otro como electrodo negativo.

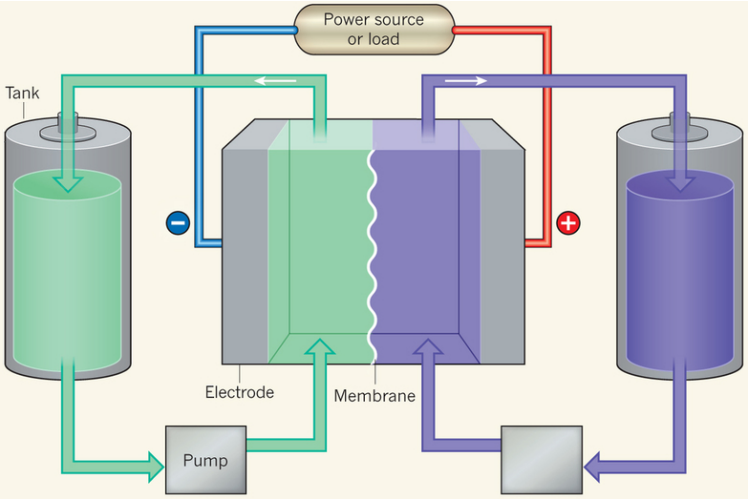


Figura 55. *Esquema de los componentes de una batería de flujo (Fuente: Logicoach)*

Las características principales de estas baterías de flujo son:

- La tensión por cada celda está comprendida entre 1,4 y 1,6 V.
- La densidad de potencia está por encima de los 100 mW/cm^3.
- Las baterías se mantienen estables tras 10.000 ciclos de recarga.

7.3.3. Electrolito sólido

Las baterías de electrolito sólido combinan un cátodo y un ánodo metálico y una capa de electrolito de litio sólida e inorgánica entre ambos. Esta tecnología duplica e incluso triplica la densidad energética de las baterías de litio con electrolito líquido. También elimina los dos puntos débiles de este tipo de baterías que consideran muchos fabricantes de coches

eléctricos que son la autonomía y el tiempo de recarga. Respecto a la seguridad, también es uno de los aspectos que las baterías de electrolito sólido mejoran ya que no se incendian y previene la formación de cavidades que en casos extremos pueden provocar la explosión de la batería. Al cambiar el electrolito líquido, volátil, inflamable, y corrosivo por un polímero de plástico que puede funcionar a temperatura ambiente se reducen los costes de producción y también permite prescindir de algunos de los sistemas de seguridad que incorporan las baterías de litio líquido, por lo que se abaratan los costes de producción. También se eliminan el sistema de enfriamiento y el sistema de contención de líquidos lo que simplifica el diseño de las celdas, los módulos y el paquete completo de batería.

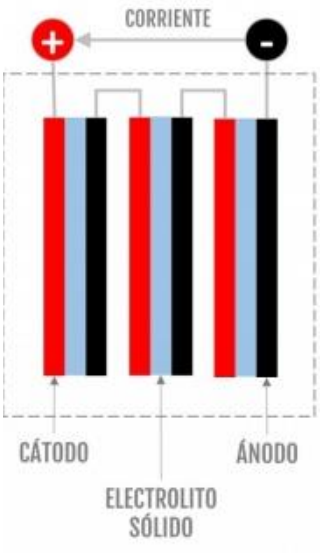


Figura 56. *Esquema de una batería de electrolito sólido (Fuente: Logicoach)*

7.3.4. Grafeno

El grafeno es un material del espesor de un átomo, más duro que el diamante, termo conductor, transparente y flexible como el caucho. Las baterías de grafeno son capaces de alcanzar una densidad energética de hasta 1.000 Wh/kg según certifican los laboratorios TÜV y Dekra. Se han llegado a realizar 400 ciclos de carga y descarga sin apreciarse pérdidas de capacidad. Estas baterías son totalmente modulables y pueden adoptar formas tanto planas como cilíndricas, tienen un peso que se reduce en un 75% al de las de litio, el volumen se reduce en un 20-30% y su comportamiento ante la temperatura es muy estable.

En el sector del vehículo eléctrico, se asegura que una batería de 800 km de autonomía podría cargarse en 5 minutos, aunque aún no se han especificado las características del cargador necesario para este tipo de carga. Otra de las ventajas de esta tecnología es que su precio de comercialización será prácticamente el mismo que el que tienen las baterías de litio y aseguran que serán capaces de bajar esos precios.

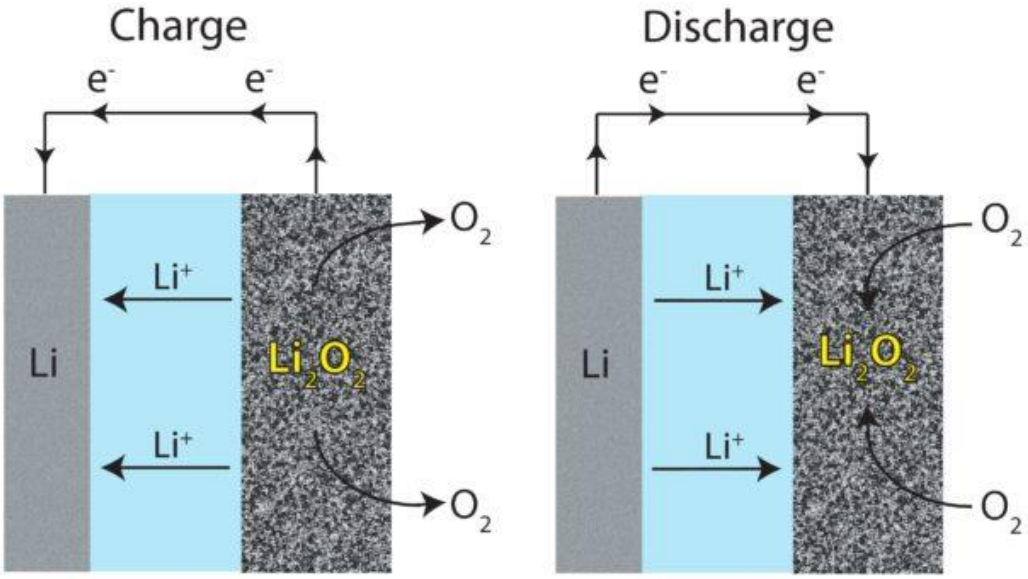


Figura 57. *Esquema de una batería de grafeno (Fuente: Graphene Batteries)*

7.4. Tabla comparativa

Tabla 9. *Comparativa de los tipos de batería mencionados*

Tipo de batería	Potencia específica [kW/kg]	Energía específica [Wh/kg]	Ciclos de vida
Plomo-ácido	180	40	500-800
Níquel-Hierro	100	30	2000-4000
Níquel-Cadmio	150	60	1500-2000
Níquel-Hidruro metálico	200	75	300-500
Ion-Litio	250-340	150-200	1000-3000
Sal fundida	155	90-110	1500-3000
Sodio-Azufre	155	100-120	1500-3000

7.5. Elección del tipo de batería

Una vez hecho el estudio de los tipos de batería disponibles en el mercado y basándonos en la tabla comparativa final hemos determinado que escogeremos una batería de tipo Ion-Litio.

Este tipo de baterías es la que más se adecua a nuestro vehículo, ya que tienen poco peso y un volumen reducido, es decir, son muy compactas, y sobre todo tienen una densidad energética elevada. Esto nos proporcionará una mayor cantidad de potencia durante periodos prolongados, consiguiendo así más autonomía. Algunas desventajas de este tipo de baterías son su fragilidad, por lo tanto, es necesario un sistema de protección en el lugar donde van alojadas y su coste de producción, el cual se irá reduciendo con el paso del tiempo a medida que aumente la demanda de estos productos.

Hemos descartado otros tipos de baterías como las de tipo Níquel-Hidruro metálico, que aunque tienen elevados ciclos de vida y no presentan problemas medioambientales en su reciclaje, tienen un elevado mantenimiento, una baja eficiencia y generan bastante calor en su uso. Otro tipo de batería que hemos descartado ha sido la de tipo sal fundida principalmente por su gran volumen, ya que en nuestro vehículo de pequeñas dimensiones queremos baterías lo más compactas posibles.

Finalmente, también hemos descartado las baterías de tipo Plomo-ácido, Níquel-Hierro o Níquel-Cadmio, debido al excesivo peso y poco rendimiento, la baja potencia y eficiencia, y el alto coste y efecto memoria, respectivamente.

7.6. Baterías LG Chem

Una vez escogido el tipo de batería que más de adecuada a nuestro vehículo se ha optado por las baterías de Ion-Litio que fabrica la empresa LG Chem y que están revolucionando el mercado actual. Las razones por las que instalaremos esta batería en concreto se exponen a continuación.

La característica más importante de estas baterías es su alta densidad de energía, lo cual nos asegurará la mejor autonomía para las dimensiones de la batería que tenemos disponibles en el chasis de nuestro vehículo. Esto lo han conseguido incorporando a las celdas de las baterías Níquel, Manganeso y Cobalto (NMC). Otra característica importante es que la temperatura se mantiene uniforme, lo que permite refrigerarlas aportando solo una pequeña cantidad de energía. Todo esto hace que la vida útil de la batería se prolongue.

Seguidamente se pueden observar las fases de las que consta todo el proceso que se debe seguir desde que se crea la batería, empezando por la construcción de las celdas, hasta que se tiene completamente instalada en el vehículo y con el controlador adecuado para éste:

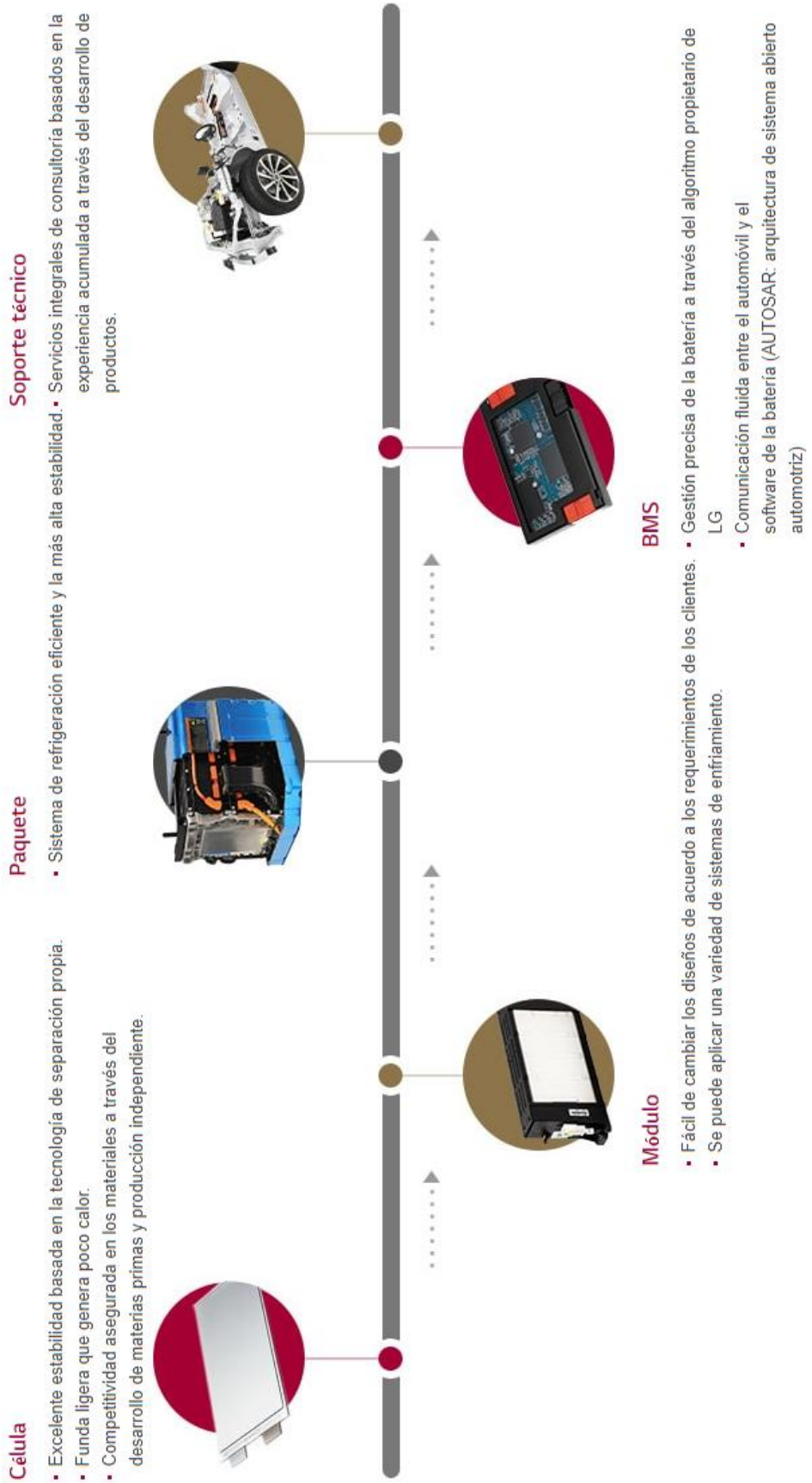


Figura 58. *Proceso de construcción de una batería (Fuente: LG Chem)*

7.6.1. Características de la batería

LG Chem nos ofrece baterías con tecnología de vanguardia que hará que nuestro vehículo sea más eficiente, seguro y consiga una mayor autonomía.

7.6.1.1. Celdas

Como las celdas de la batería del fabricante adoptan varias medidas podemos asegurar siempre unas medidas exactas en el encaje del bloque de la batería en el chasis de nuestro vehículo. Esto lo consiguen cambiando las dimensiones de los electrodos, así como también el número de bolsas que se apilan en cada celda.

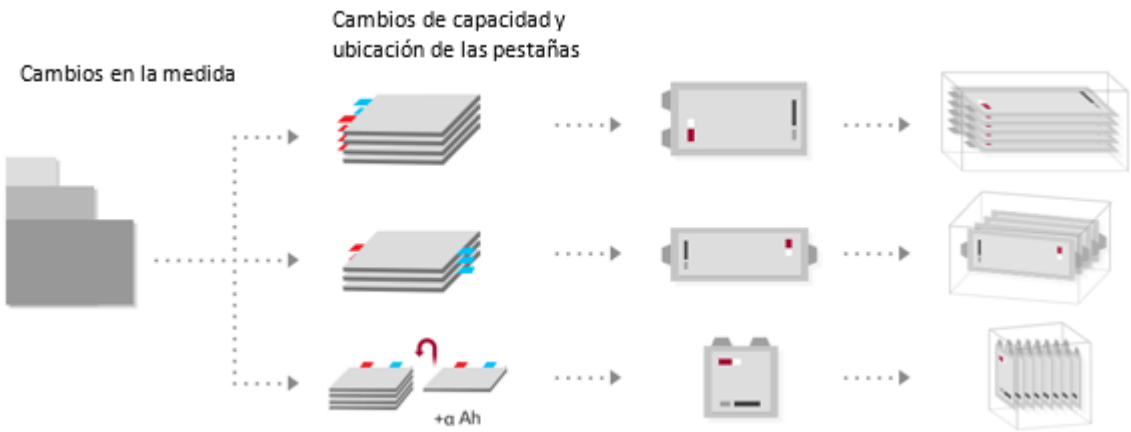


Figura 59. *Máxima capacidad mediante cambios en el diseño de las células (Fuente: LG Chem)*

7.6.1.2. Control de temperatura uniforme

Las baterías poseen un sistema de refrigeración activo que distribuye el calor uniformemente sobre toda la superficie de la caja metálica gracias al uso de almohadillas o parches térmicos. Estas almohadillas térmicas se encuentran ubicadas entre el módulo de la batería y el disipador de calor y transfiere el calor generado en el interior al exterior. A continuación, se muestra la estructura del sistema:

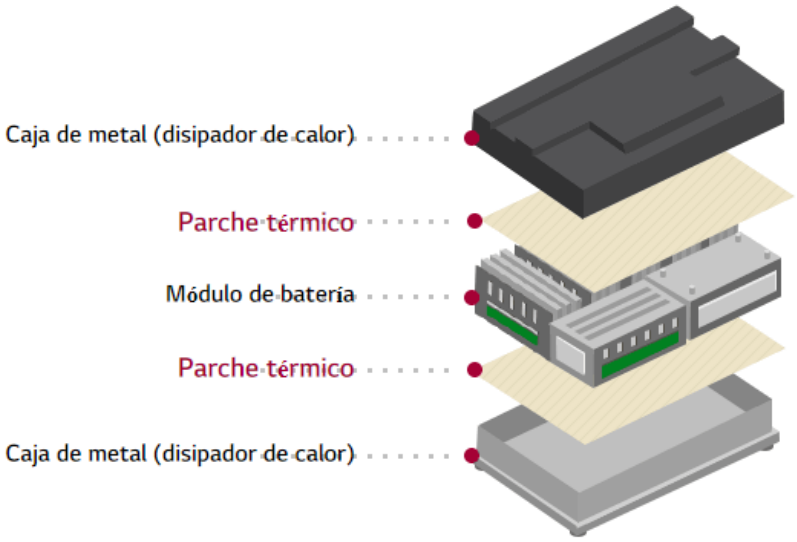


Figura 60. *Control térmico de la batería (Fuente: LG Chem)*

7.6.1.3. Peso ligero

La ligereza de estas baterías va muy relacionada con el hecho de tener un buen control térmico, ya que los sistemas de refrigeración se reducen al máximo. Con esto, se obtiene una reducción de peso y volumen con el mismo rendimiento en cuanto a refrigeración se refiere.

7.6.1.4. Empaquetado

El empaquetado de las baterías tiene que asegurar el mínimo volumen posible para así optimizar el espacio en el vehículo. Para ello, las celdas y módulos de las baterías de LG Chem se adhieren mediante cinta adhesiva de doble cara que nos asegura una sujeción firme y un alto rendimiento humectante. Además, tiene una gran resistencia a los impactos y a las altas temperaturas.

También se colocan espaciadores de espuma para evitar las deformaciones debido a las contracciones o expansiones de las celdas durante la carga y la descarga con una alta característica de compresión y recuperación además de una gran durabilidad. También, al igual que la cinta adhesiva, ayuda a absorber los impactos.

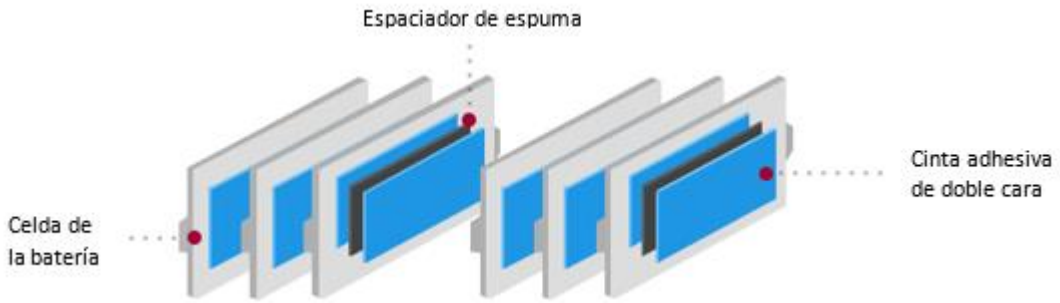


Figura 61. *Explosionado del empaquetamiento de la batería (Fuente: LG Chem)*

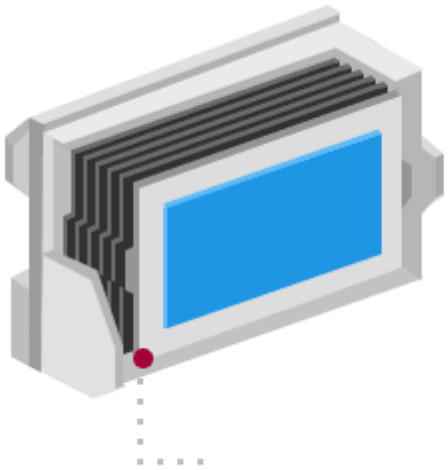


Figura 62. *Módulo de la batería (Fuente: LG Chem)*

7.6.1.5. Refrigerante

Las baterías del fabricante LG Chem tiene refrigeración líquida, por lo que se necesita instalar un sistema de bombeo y un radiador que efectúe el intercambio de calor. La estructura ha sido diseñada con el objetivo de aislar y de prevenir cualquier fuga de refrigerante al exterior de la batería evitando así posibles incendios de esta o explosiones por sobrecalentamiento.

7.6.1.6. BMS

El BMS (*Battery Management System*) es el sistema de gestión de la batería. LG Chem lo desarrolló mediante la aplicación del chip ASIC, que es la suma de los conocimientos técnicos que la empresa ha adquirido sobre baterías y también sobre los estándares de comunicación de las compañías OEM (Original Equipment Manufacturer) de automóviles. Ello ha llevado a converger en una tecnología de administración de baterías precisa y confiable que solo ellos ofrecen.

7.6.2. Especificaciones de la batería

Tabla 10. *Especificaciones de la batería*

BATERÍA	
Capacidad útil [kWh]	40
Tensión total [V]	400
Tecnología	Ion-Litio
Número de módulos/celdas	12/192
Peso de la batería [kg]	300kg
TIEMPOS DE CARGA	
Toma doméstica 2,3kW (monofásico 10A) (0/100%)	25h
Toma de seguridad Green-Up 3,7kW (monofásico 16A) (0/100%)	15h
3,7kW (borne trifásico 16A) (0/100%)	15h
7,4kW (borne monofásico 32A) (0/100%)	7h 25min
11kW (borne trifásico 16A) (0/100%)	4h 30min
22kW (borne trifásico 32A)	2h 40min
43kW (borne trifásico 63A) (80% de batería cargada)	1h 40min
AUTONOMÍA(1)	
Autonomía [km]	450

(1) La autonomía se ha estimado partiendo de los datos del Renault Zoe, ya que el tipo de batería que usa este modelo es el mismo que el de nuestro prototipo y se ha comparado tanto su peso como el coeficiente de resistencia aerodinámica para obtener una aproximación de autonomía. El coeficiente Cx se estima a 0,3 debido a las dimensiones del chasis y la forma que supuestamente tendrá la carrocería.

7.6.3. Situación en el mercado

En el siguiente gráfico podemos observar el liderazgo de LG Chem previsto para el 2020. Esto es un buen indicador ya que el encontrarse por encima de todos sus competidores nos da un indicio de calidad y prestaciones de los productos que la empresa ofrece.

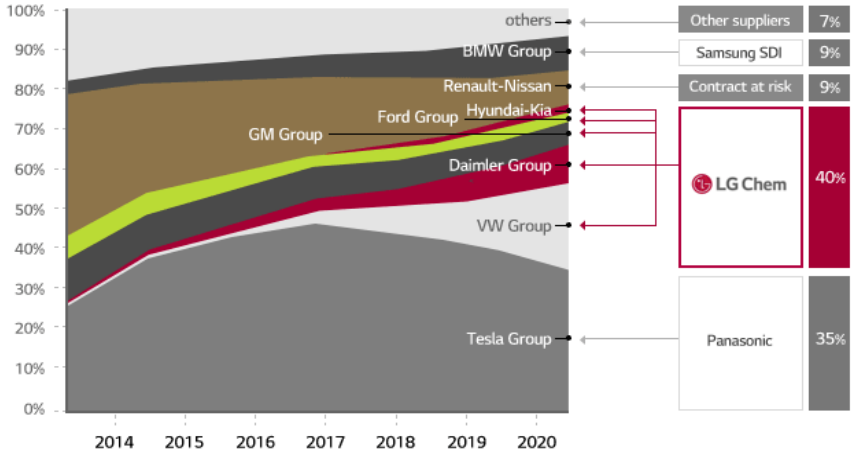


Figura 63. *Dominio del mercado en 2020 (Fuente: LG Chem)*

8. Sistema de tracción

8.1. Motor

8.1.1. Introducción al motor eléctrico

Los motores eléctricos constituyen una pieza fundamental en la tecnología de los vehículos eléctricos. Actualmente esta tecnología es conocida y fiable debido a la experiencia acumulada tras muchos años de fabricación de motores eléctricos, el gran conocimiento que se tiene sobre los materiales empleados y sus características y los grandes avances en el diseño industrial. Los motores eléctricos trifásicos que se emplean actualmente en la tracción de vehículos son potentes, suaves, progresivos, silenciosos, fiables, duraderos y tienen un rendimiento de hasta el 98%.

Un motor eléctrico tiene una entrega de potencia constante en todo el rango de velocidades, cosa que proporciona pares elevados a bajas velocidades de giro y pares reducidos a altas velocidades de giro. Por este motivo, un vehículo eléctrico no necesita una caja de cambios.

Ventajas del motor eléctrico:

- Un motor eléctrico no quema combustibles durante su uso, por lo que no emite gases a la atmósfera.
- Un motor eléctrico producido en serie es más compacto, más barato y mucho más simple que un motor de combustión interna. No necesita circuito de refrigeración, ni aceite, ni demasiado mantenimiento.
- Prácticamente no hace ruido al funcionar y sus vibraciones son imperceptibles.
- Funciona a pleno rendimiento sin necesidad de variar su temperatura. Al no tener elementos oscilantes, no necesita volantes de inercia ni sujeciones espaciales que lo aíslen del resto del coche. Al generar poco calor y no sufrir vibraciones su duración puede ser muy elevada.
- Un motor eléctrico no necesita cambio de marchas, exceptuando un mecanismo para distinguir avance o retroceso, que bien puede ser simplificado con la inversión de polaridad del propio motor.
- Teóricamente un motor eléctrico puede desarrollar un par máximo desde 0 r.p.m., por lo que hace posible arrancar desde cero con una velocidad máxima.

- Una vez que se elimina la caja de cambios y la refrigeración, se abre la posibilidad de descentralizar la generación de movimiento, situando un pequeño motor en cada rueda en lugar de uno "central" acoplado a una transmisión. Lo que puede suponer una nueva distribución del espacio del coche.
- En cuanto a la eficiencia del motor eléctrico, ésta se sitúa alrededor del 90%. Por limitaciones termodinámicas un motor diesel se situaría en eficiencias de hasta un 40%, siendo éste superior a su vez a la eficiencia de un motor de gasolina.
- Resulta sencillo recuperar la energía de las frenadas y bajadas de pendientes (o parte de ella) para recargar las baterías, porque un motor eléctrico puede ser también un generador eléctrico.

8.1.2. Funcionamiento

El principio de funcionamiento de un motor eléctrico se basa en las leyes del electromagnetismo. La interacción de dos campos magnéticos se aprovecha para obtener energía cinética de movimiento a partir de la energía eléctrica. De esta manera, con dos imanes permanentes, un fijo y otro montado sobre un eje, se produce un par de giro generado sobre el imán móvil.

Para la construcción de un motor eléctrico es necesario que como mínimo uno de los dos imanes sea un electroimán ya que una vez alineados los campos magnéticos generados por los imanes se necesita un cambio de polaridad para así conseguir un nuevo giro. Este cambio de polaridad en un electroimán se consigue cambiando el sentido de giro de la corriente eléctrica dentro de las espiras de la bobina de éste. Por tanto, si invertimos el sentido de la corriente también se invierte la polaridad del campo magnético que genera y el imán móvil seguirá dando vueltas, convirtiendo la energía eléctrica que recibe por sus terminales en mecánica de rotación. Los sucesivos cambios de polaridad del electroimán son provocados por el controlador del motor.

Los motores eléctricos acostumbran a trabajar con una velocidad de giro constante. En el caso del automóvil aparecen dos modos de funcionamiento más debido a las diferentes situaciones que se encuentran al conducir el vehículo. Para un mejor análisis de los modos de funcionamiento usaremos el siguiente gráfico:

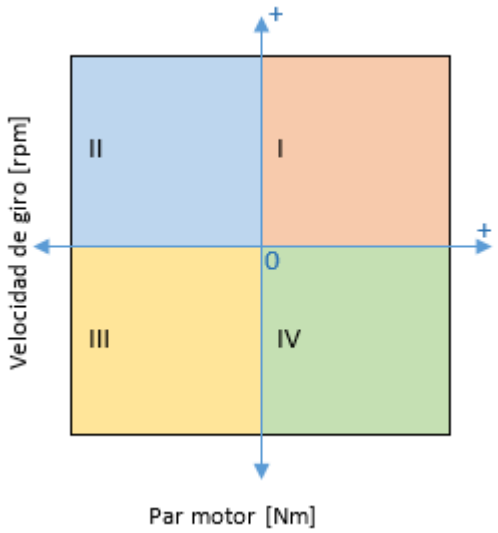


Figura 64. *Modos de operación de un motor eléctrico*

A diferencia con los motores térmicos, que tienen un único sentido de giro, los motores eléctricos pueden girar en ambos sentidos. Es por ello que en el eje horizontal del gráfico tenemos tanto signo positivo como negativo para la velocidad de giro. Por tanto, los cuadrantes I y IV, que se encuentran en la parte positiva de la figura 64 respecto al eje, corresponden a un giro del motor en el sentido de avance del vehículo, mientras que, en los cuadrantes negativos II y III, el motor gira en el sentido de retroceso. De la misma forma, el motor puede ofrecer tanto un par positivo como negativo (eje vertical). El par es positivo en el sentido de avance del vehículo, cuadrantes I y II, y negativo en los cuadrantes III y IV, es decir, cuando hace que el vehículo retroceda.

Por tanto, un motor eléctrico adecuado para el uso en vehículos debe de presentar 4 modos de funcionamiento, correspondiente a los cuatro cuadrantes de la figura 64:

- Modo I: Cuando tanto la velocidad de giro como el par entregado son positivos el vehículo el motor permite al vehículo avanzar hacia delante, generando una aceleración sobre éste.

- Modo II: En el segundo cuadrante tenemos una velocidad de giro negativa, lo cual indica que el vehículo retrocede. El par se ejerce en sentido contrario (positivo), por lo que el motor está generando electricidad. El conductor no acelera y se activa la función de recuperación de energía (KERS).

- Modo III: Nos encontramos ante el mismo caso que en el modo I pero ahora el conductor acelera marcha atrás, por lo que se genera tanto una velocidad de giro como un par en sentido negativo.

- Modo IV: En este modo de funcionamiento se activa la recuperación de energía mientas el vehículo avanza hacia delante. La velocidad de giro es positiva pero el par tiene sentido negativo.

8.1.3. Tipos de motores eléctricos

En la siguiente tabla se muestran los diferentes tipos de motores eléctricos y un resumen de sus características en forma de tabla para así poder escoger fácilmente la mejor opción de motorización eléctrica en cuanto a prestaciones:

Tabla 11. *Características de los diferentes motores eléctricos*

Características	Motor asíncrono	Motor síncrono	Motor de reluctancia	Motor de flujo axial	Motor CC sin escobillas
Densidad de potencia	Satisfactorio	Poco satisfactorio	Satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio
Sobrecarga/par de arranque	Satisfactorio	Poco satisfactorio	Poco satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
Eficiencia	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio
Gama de velocidades	Muy satisfactorio	Satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Poco satisfactorio
Operación en los cuatro cuadrantes	Satisfactorio	Moderado	Satisfactorio	Muy satisfactorio	Satisfactorio
Sencillez de control	Muy satisfactorio	Moderado	Muy satisfactorio	Satisfactorio	Moderado
Nivel de ruido	Satisfactorio	Satisfactorio	Poco satisfactorio	Muy satisfactorio	Satisfactorio
Estabilidad de par	Moderado	Moderado	Poco satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio
Tamaño y peso	Muy satisfactorio	Moderado	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Satisfactorio
Robustez mecánica	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
Robustez térmica	Modeado	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Satisfactorio
Fabricación/ mantenimiento	Satisfactorio	Muy satisfactorio	Poco satisfactorio	Muy satisfactorio	Satisfactorio
Coste	Muy satisfactorio	Satisfactorio	Muy satisfactorio	Moderado	Poco satisfactorio

Tras analizar la tabla, observamos que la mejor opción con diferencia y según las características valoradas es el motor de flujo axial. A continuación, se entra en detalle en el análisis de este tipo de motores, en concreto del motor desarrollado y fabricado por Magnax.

8.2. Motor Magnax AXF225

Magnax ha desarrollado un motor de flujo axial de imanes permanentes que presenta las siguientes ventajas sobre los demás tipos de motores eléctricos:

- Aumenta la eficiencia energética del motor hasta valores por encima del 96%, mientras que lo habitual en motores eléctricos se encuentra entre el 84% y el 92%.
- La longitud de estos motores es de 5 a 8 veces menor de lo habitual.
- El peso de se ve reducido de 2 a 5 veces respecto a las demás tipologías de motores eléctricos.
- Es necesaria la mitad de material de lo habitual para su construcción.

El flujo axial se consigue poniendo los dos juegos de imanes paralelos entre ellos y perpendiculares al eje de rotación. Esta tipología de flujo axial permite que las máquinas sean mucho más compactas, ligeras y eficientes.

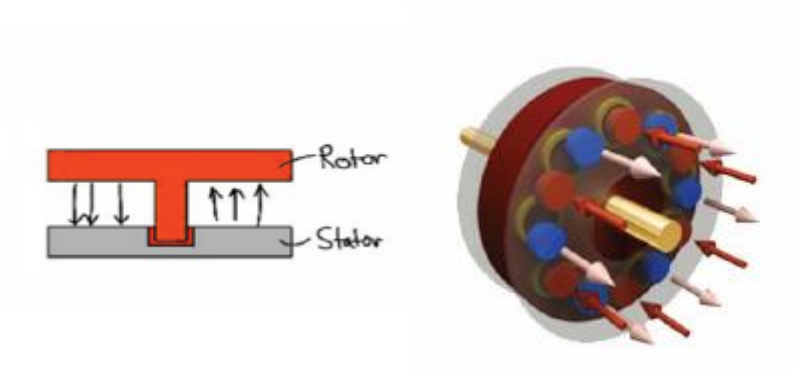


Figura 65. *Flujo axial (Fuente: Magnax)*

Además, hay 4 razones por las que un motor de flujo axial consigue una mayor densidad de potencia:

- El hecho de no tener yugo permite que ambos lados del estator generen par.

- La trayectoria que debe recorrer el flujo magnético es mucho más corta, por lo que tienen una mayor eficiencia. Además, en este tipo de motores el flujo es unidimensional (línea recta), mientras que, en los demás motores, al ser radiales, tiene una trayectoria curva, lo que implica una pérdida de eficiencia del flujo magnético.

- Una parte de los devanados de los motores de flujo radial es no activa, lo que se conoce como voladizo de la bobina, y la única función que tiene es disipar el calor. En los motores de flujo axial se usan bobinas concentradas, el 100% del devanado está activo, por lo que el resultado de potencia / peso es mucho mejor en este tipo de motores.

- El enfriamiento es óptimo en este tipo de máquinas de flujo axial porque los devanados están en contacto directo con la carcasa exterior de aluminio (y no en el caso de flujo radial). Al ser el aluminio un buen conductor del calor los devanados se mantienen fríos y hace que la resistencia del cobre permanezca baja, con lo que se logra una mayor eficiencia.

La combinación de estas 4 razones hace que los motores de este tipo consigan una mayor densidad de potencia y una mayor eficiencia.

8.2.1. Funcionamiento

Las máquinas de flujo axial consisten en un estator y dos rotores. Entre medio de estos dos rotores se encuentra el estator con una pequeña cámara de aire de separación con cada uno. En el estator encontramos los devanados mientras que los rotores contienen los imanes, los cuales hacen fuerzas iguales pero opuestas sobre el otro rotor con lo que las fuerzas entre ellos se cancelan. Por tanto, el cojinete central teóricamente no tiene que aguantar ningún tipo de fuerzas y su única función es mantener el estator exactamente en el punto medio entre los dos rotores. En la práctica esto no sucede, por lo que siempre actuará una pequeña fuerza sobre el rodamiento interno.

El uso de acero de grano orientado en el núcleo hace que estos motores tengan menos pérdidas ya que los granos del acero están orientados en la misma dirección que las

trayectorias de flujo, paralelas al eje, y tienen una excelente permeabilidad. Todo esto, además de aumentar la eficiencia del motor también aumenta el par electromagnético de éste.

Figura 66. *Motor de flujo axial Magnax (Fuente: Magnax)*

Tabla 12. *Comparativa de prestaciones entre los motores de los competidores (Fuente: Magnax)*

Motor eléctrico	Tesla Model 3 (2017) Flujo Radial	Chevrolet Bolt (2017) Flujo Radial	BMW i3 (2014) Flujo Radial	Magnax AXF225 (2018)
Par máximo [Nm]	350	360	250	250-280
RPM máximos	18000	8810	11400	14000
Peso sin soporte [kg]	46,1	51,5	48	13
Potencia máxima [kW]	225	147	125	220
Densidad de potencia máxima [kWp/kg]	4,88	2,85	2,60	16,9

Los motores desarrollados por Magnax pueden combinarse con una caja de cambios. Tanto en el caso en que el motor vaya instalado directamente en el chasis como si hacemos la instalación directa a la rueda.

Figura 67. *Motor Magnax con caja de cambios de instalación en el chasis (Fuente: Magnax)*

Figura 68. *Motor Magnax con caja de cambios de instalación en la rueda (Fuente: Magnax)*

Otra alternativa es poner el motor sin caja de cambios. De esta manera la instalación es mucho más sencilla y requiere de un menor mantenimiento. Esto es posible gracias a que los motores de flujo axial son capaces de dar el máximo par desde las cero rpm. Con ello, también reducimos significativamente el peso del grupo propulsor.

8.3. Transformadores

Los transformadores eléctricos tienen un papel muy importante en los vehículos eléctricos y son los encargados de realizar las siguientes funciones:

- Realizar la conversión de tipo de corriente correctamente, es decir, de CC a CA o de Ca a CC según sea necesario.

- Suministrar a la salida el valor de tensión necesario para un buen funcionamiento del sistema.

- Suministrar los impulsos de tensión en el momento exacto para que en el estator aparezcan los campos magnéticos en el momento adecuado para provocar el giro correcto del rotor y el motor eléctrico gire con suavidad.

- Controlar el estado de todos los elementos que se encuentran bajo su custodia: bobinas del estator, velocidad de giro y posición del rotor.

- Velar por la seguridad del vehículo sabiendo en todo momento la posición en la que se encuentran los pedales del acelerador y freno, la velocidad del vehículo y el deslizamiento de las ruedas entre muchos otros datos del coche que se obtienen a través de sensores específicos.

Existen tres clases de transformadores útiles en el caso de los vehículos eléctricos:

8.3.1. Transformadores de CC a CA

El transformador de corriente continua a corriente alterna es el tipo de transformador empleado para alimentar el motor eléctrico (CA) a partir de corriente continua suministrada por las baterías (CC).

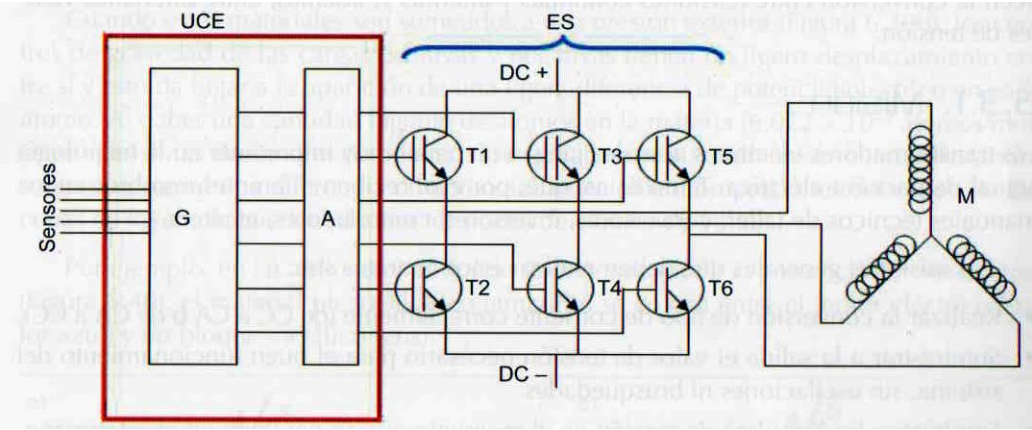


Figura 69. *Componentes de un transformador CC-CA (Fuente: Vehículos eléctricos e híbridos)*

En la figura 70 se muestra el esquema de un transformador de estas características. Estos transformadores constan de dos partes bien diferenciadas como son la unidad de control electrónico (UCE) y la etapa de salida (ES). La UCE está formada por un generador de ondas (G), el cual recibe la información del estado de todo el sistema mediante sensores, establece las condiciones que debe haber, por ejemplo, aumentar o disminuir el par, en función de las exigencias del conductor del vehículo y elabora las señales que se deben enviar al motor. Una vez esas señales son elaboradas pasan por el amplificador (A) para adecuarlas al motor eléctrico (M).

La etapa de salida tiene la misión de alimentar los 3 circuitos que forman el bobinado en triángulo del estator en el momento adecuado mediante la combinación de los 6 transistores IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) con ondas de tipo PWN.

Para conseguir ondas de corriente alterna en el generador de ondas emite un tren de ondas PWM (*Pulse-Width Modulation*). Este sensor de ancho de pulso consiste en un circuito que incluye una resistencia variable y que proporciona una señal binaria cuya anchura varia con la posición de la resistencia variable.

8.3.2. Transformadores de CA a CC

Este es el tipo de transformador que hace la función inversa al tipo de transformadores explicados en el apartado anterior. Se usan para convertir la tensión alterna trifásica, generada por los motores eléctricos en el momento en el que el conductor no está acelerando, en

corriente continua apta para cargar las baterías. Este proceso es el de recuperación de energía o KERS (*Kinetic Energy Recovery System*).

En cuanto a su estructura, constan de las mismas dos partes que los anteriores. Está constituido por un grupo de 6 tiristores que están comandados por un generador de impulsos PWM de seis salidas.

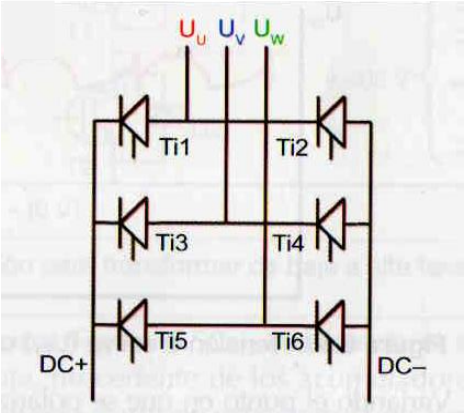


Figura 70. *Componentes de un transformador CA-CC (Fuente: Vehículos eléctricos e híbridos)*

Los tiristores se activan por parejas para aprovechar las diferencias de tensión entre diferentes fases de forma que la diferencia se mantenga lo más estable posible. Esta tensión final que se obtiene una vez la corriente pasa por los tiristores no es perfectamente continua, sino que se muestra con un cierto rizado que será corregido posteriormente mediante un circuito electrónico formado básicamente por condensadores.

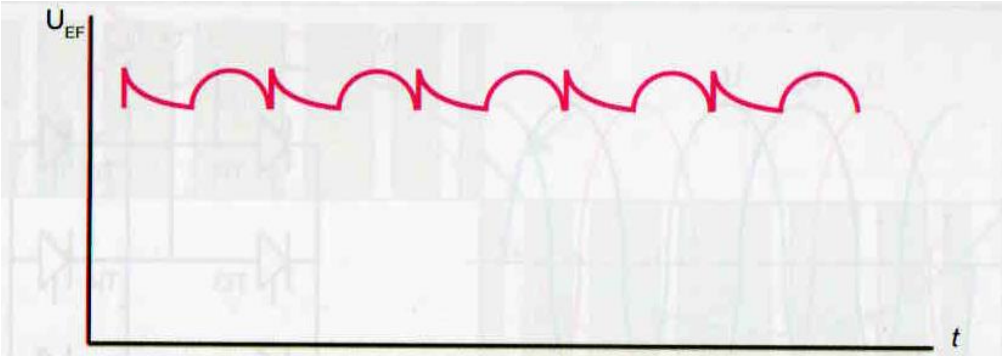


Figura 71. *Tensión efectiva (U_{EF}) obtenida con el trasformador CA-CC (Fuente: Vehículos eléctricos e híbridos)*

8.3.3. Transformadores de CC a CC

Los transformadores de CC a CC se usan siempre que se quiere alimentar algún dispositivo y la tensión no es la adecuada para ello, aunque también se utilizan como estabilizadores de tensión. Este tipo de transformadores están formados por únicamente 2 transistores IGBT (T1 y T2), una inductancia (L) y 2 diodos (D1 y D2).

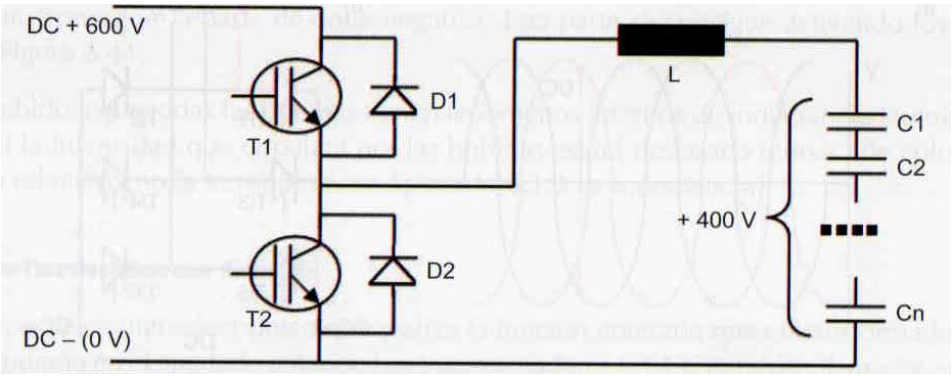


Figura 72. *Componentes de un transformador CC-CC (Fuente: Vehículos eléctricos e híbridos)*

El funcionamiento de estos transformadores varía según si queremos aumentar o disminuir la tensión a la salida:

- **Aumento de tensión:** El proceso consta de 2 fases. En la primera fase, denominada carga de la inductancia, se transforma parte de la energía que alimenta la inductancia al dejar pasar corriente por el transistor T2 en campo magnético. Una vez la inductancia está completamente cargada se inicia la segunda fase, interrumpiendo la alimentación sobre el transistor T2 y transformando la energía acumulada en la inductancia en forma de campo magnético en tensión eléctrica al oponerse ésta a la variación de intensidad. Esta tensión eléctrica sumada a la que aportan las baterías nos da el aumento de tensión buscado.

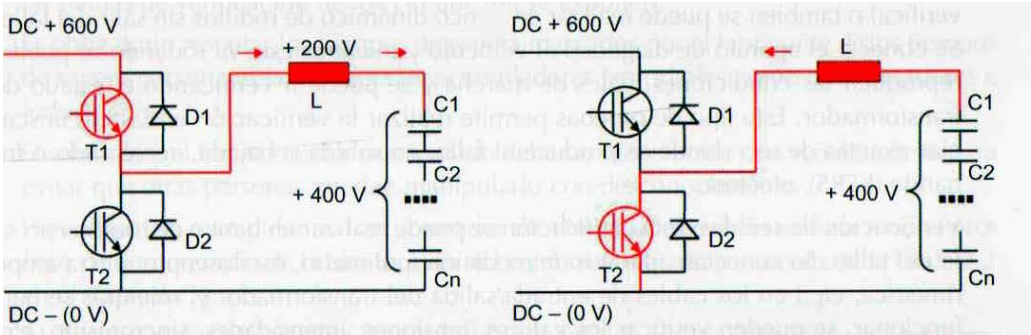


Figura 73. *Fases de transformación de baja a alta tensión (Fuente: Vehículos eléctricos e híbridos)*

- **Disminución de la tensión:** Cuando es necesario transformar una corriente eléctrica de mayor a menor tensión es cuando entra en funcionamiento también el transistor T1. Este proceso de disminución de la tensión también se produce en dos fases. En la primera fase se activa el transistor T1, por lo que se permite el paso de corriente hacia la inductancia y se va cargando y transformando energía eléctrica en campo magnético. Mientras se carga la inductancia, la salida de tensión adopta ya el valor de que deseamos. Cuando la inductancia está cargada se desactiva T1 y se activa T2 para hacer desaparecer el campo magnético de la inductancia ya que cuando está completamente cargada, a la salida ya no tenemos un valor de tensión disminuido.

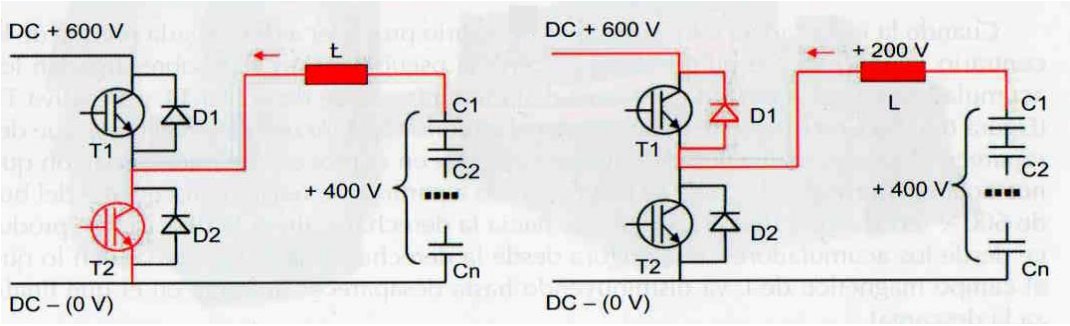


Figura 74. *Fases de transformación de alta a baja tensión (Fuente: Vehículos eléctricos e híbridos)*

8.4. Inversor

El inversor es una de las partes más importantes de los vehículos eléctricos, junto con el motor y la batería. Es el encargado de extraer la energía de las baterías y suministrársela al motor según la demanda del conductor. Para ello, el inversor tiene que transformar la corriente continua extraída de las baterías a corriente alterna para alimentar al motor eléctrico. También es el encargado de generar la corriente alterna con la frecuencia y el voltaje requeridos en cada momento por el motor, según la potencia que solicita el conductor mediante el pedal del acelerador y las revoluciones a las que gira el motor. Cuando no se tiene el pie en el acelerador, su función es la de cargar las baterías con la energía generada por el motor, con lo que tiene que pasar esta energía extraída del motor de corriente alterna a corriente continua.

Figura 75. *Componentes de un inversor (Fuente: Renault)*

8.5. Conversor

El conversor es el encargado de transformar la alta tensión de corriente que aporta la batería principal del vehículo en baja tensión de corriente continua necesaria para alimentar las baterías auxiliares de 12V que suministran energía a todos los componentes auxiliares del vehículo.

Figura 76. *Conversor 400V-12V (Fuente: Cetronic)*

8.6. Cargador

El cargador es el elemento que absorbe la electricidad providente directamente de la red eléctrica. Esta corriente es alterna y la función del cargador es la de transformarla en corriente continua mediante un transformador para así cargar la batería principal. Con los cargadores ultra-rápidos no es necesario el uso del cargador interno del vehículo ya que la corriente que suministran es continua, por lo que ya se dirige directamente hacia la batería para cargarla.

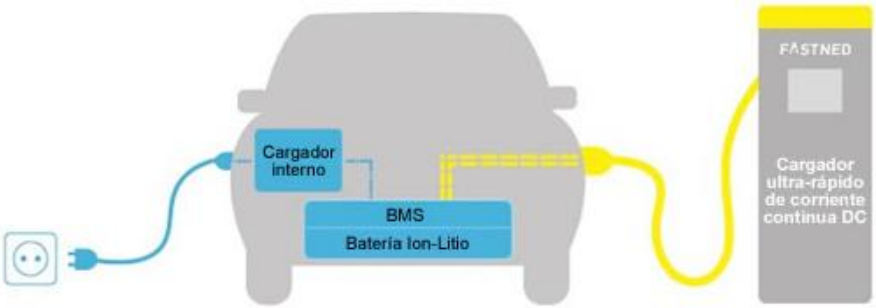


Figura 77. *Componentes y métodos de carga de las baterías (Fuente: Diariomotor)*

8.7. ECU

Sus siglas en inglés son: *Electronic Control Unit,* es decir, se trata de la unidad de control electrónica. Es la encargada de gestionar todos los componentes electrónicos del vehículo.

Figura 78. *Unidad de control electrónica (ECU) (Fuente: Diariomotor)*

Una vez analizados todos los componentes del grupo propulsor, podemos hacer una estimación de su masa, situándose esta en 41 kg aproximadamente, valor el cual ya hemos utilizado en las simulaciones del chasis (apartado 6.2.4.1.).

9. Suspensiones

9.1. Introducción

El sistema de suspensión de un vehículo es el conjunto de componentes mecánicos que unen la parte suspendida del mismo con la superficie rodante, con el objetivo principal de mantener en todo momento el contacto de las ruedas con el terreno.

Principalmente la finalidad de este sistema es, por una parte, permitir el control de la trayectoria del vehículo mediante el contacto rueda-suelo, para así asegurar la estabilidad de éste en cualquier circunstancia, y por otra parte, garantizar el confort de los ocupantes y de los objetos transportados y adaptarse a la superficie, que no es preciso que sea completamente plana. Otras finalidades, no menos importantes, que tienen las suspensiones son:

- Sostener la carga del vehículo.
- Transmitir las fuerzas de aceleración y frenado entre los ejes y el bastidor.
- Resistir los pares de motor y de frenado, así como las cargas generadas por las curvas.
- Conservar el paralelismo entre ejes y la perpendicularidad al bastidor.

Antes de entrar en más detalle, se entiende como parte o masa suspendida todas aquellas masas que soportan las suspensiones, como son el chasis, los componentes internos (grupo propulsor, baterías, etc.) y los pasajeros y carga. Por otro lado, la parte o masa no suspendida es el conjunto de masas que no están soportadas por las suspensiones, incluyéndose las ruedas y el sistema de frenos.

A continuación, se explicarán brevemente los tipos de suspensión más comunes que existen en la actualidad y se decidirá cual se adapta mejor a nuestro tipo de vehículo, siempre teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

- Mínimo peso, ya que cuanto menor sea este valor, mayor será la autonomía.
- Bajo mantenimiento.
- Mínimo desgaste del neumático y mínimas pérdidas de contacto de la rueda con el suelo.
- Mínimo coste de fabricación compatible con los requerimientos del proyecto.
- Facilidad de montaje.

9.2. Tipos de suspensiones

Durante toda la historia del automovilismo se han inventado bastantes sistemas de suspensión, algunos de los cuales están muy extendidos y son muy utilizados en los vehículos actuales, algunos solamente se utilizan para vehículos especiales y otros, simplemente, no han prosperado y han caído en desuso.

Los sistemas de suspensión se pueden agrupar en tres grandes grupos: dependientes, semi rígidos e independientes. En los sistemas dependientes, el movimiento de una rueda afecta directamente a la otra de su mismo eje. Los sistemas semi rígidos están a medio camino entre los dependientes y los independientes ya que el movimiento de una rueda solamente se transmite parcialmente a la otra del mismo eje. Finalmente, por eliminación, los sistemas independientes son aquellos en los que el movimiento de una rueda no afecta directamente a la otra de su mismo eje.

A continuación, se explicarán brevemente los tipos de suspensión más comunes pertenecientes a estos grupos.

9.2.1. Sistemas de suspensión dependientes

9.2.1.1. Suspensión de eje rígido

El sistema rígido es uno de los tipos de suspensión más antiguos y básicos que existen. Sencillamente se compone por un eje rígido que une las dos ruedas y por los elementos de amortiguación, ya sean ballestas o amortiguadores con muelles helicoidales, que unen dicho eje rígido con el bastidor, amortiguando el movimiento relativo entre ellos.

Cabe destacar que, si el elemento de amortiguación es el muelle/amortiguador, el eje rígido debe estar conectado también al chasis por dos brazos para poder así soportar las fuerzas longitudinales.

Algunas de las ventajas que presenta este sistema es que es muy sencillo y de construcción fácil, es barato y permite grandes recorridos de suspensión. Por otra parte, tiene unas desventajas tales como el espacio que requiere, su elevado peso, un potencial limitado a la

hora de configurar la cinemática de la suspensión o que, al ser un eje rígido, todas las vibraciones, fuerzas y momentos se transmiten de una rueda a la otra.

No obstante, a lo largo de los años se han ido incorporando diversos tipos de barras estabilizadoras para disminuir, en la medida de lo posible, la influencia que tiene una rueda sobre la otra, mejorando así la estabilidad del vehículo. La barra más común es la denominada barra Panhard.

Por las razones descritas anteriormente, por lo común estas suspensiones se suelen utilizar en vehículos todoterreno, camiones, autobuses y vehículos industriales.

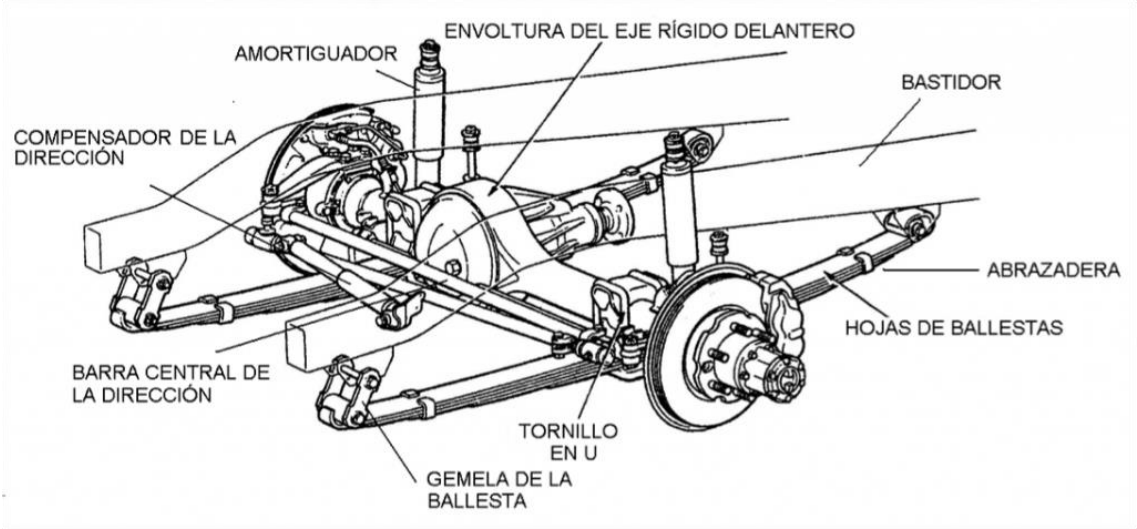


Figura 79. *Detalle del eje rígido con ballestas (Fuente: Repuestos TR)*

9.2.2. Sistemas de suspensión semi rígidos

9.2.2.1. Suspensión de eje torsional

A este tipo de suspensión se le denomina semi rígida ya que, aunque las ruedas también están unidas entre sí por un eje rígido, se transmiten solamente de forma parcial las fuerzas y vibraciones debidas al terreno. Se compone de dos brazos longitudinales unidos a una barra de torsión, normalmente de un perfil en U para poder absorber los momentos verticales y laterales de forma elástica, conectándose al chasis por otros brazos longitudinales.

Es un sistema de los más utilizados para el eje trasero, especialmente en vehículos utilitarios pequeños y medianos con tracción delantera. Entre las ventajas de este tipo de suspensión encontramos que necesita poco espacio, que cuenta con pocos componentes, que tiene un montaje y desmontaje simple y que el eje torsional actúa como barra antivuelco.

Figura 80. *Suspensión semi rígida de eje torsional (Fuente: car-engineer)*

Por otra parte, sus inconvenientes son que principalmente, las ruedas siguen teniendo una influencia mutua, a parte de la alta fatiga que sufren los cordones de soldadura y que la carga máxima permisible en el eje trasero está limitada a la resistencia de dichos cordones de soldadura.

9.2.3. Sistemas de suspensión independientes

9.2.3.1. Suspensión de dobles triángulos superpuestos

Al sistema de suspensión que estamos tratando también se le denomina suspensión de paralelogramos deformables o suspensión por trapecio articulado. Se le considera como el sistema ideal para el control de la geometría de la suspensión, ya que permite saber exactamente la posición de la rueda en todo momento del recorrido de la misma.

Está compuesto por dos brazos en forma de A, situados en las partes inferior y superior, denominados trapecios de suspensión. Dichos trapecios se unen mediante travesaños al bastidor y mediante rótulas a la mangueta, cerrando así el paralelogramo. También se le suele añadir barras antivuelco para mejorar la estabilidad del vehículo.

En referencia a las ventajas de este sistema podemos decir que se tiene un control total sobre la cinemática de la suspensión y que no hay influencia mutua entre las ruedas. En cuanto a sus pocas desventajas, podemos destacar que ocupa un amplio espacio. Este tipo de suspensiones, dadas sus características, es común su utilización en vehículos deportivos y/o de alta gama.

Figura 81. *Suspensión de dobles triángulos superpuestos, Audi R8. (Fuente: Audi automotive)*

9.2.3.2. Suspensión multibrazo (multilink)

Básicamente la suspensión multibrazo es una evolución de la suspensión de dobles triángulos superpuestos, descrita en el apartado anterior. Esta evolución consiste en la utilización de varios brazos articulados, normalmente 5 o 6, que sustituyen a los dos trapecios para cerrar el paralelogramo de suspensión.

Las ventajas e inconvenientes de este sistema son los mismos que los pertenecientes a la suspensión de triángulos superpuestos, salvo que sus componentes tienen un mayor coste, así como su diseño. Por otra parte, un buen diseño ofrece la ventaja de conseguir que las fuerzas se distribuyan de mejor manera que con el otro tipo de suspensión mencionada anteriormente, es por esto que también se suele utilizar en vehículos de alta gama.

Figura 82. *Suspensión multibrazo, Audi A6 (Fuente: Audi automotive)*

9.2.3.3. Suspensión McPherson

Uno de los sistemas de suspensión más utilizados en el mercado actual es el de tipo McPherson. Su utilización recae tanto en el eje delantero como en el trasero, siendo más habitual en el delantero ya que proporciona el espacio necesario para la ubicación del motor. Es uno de los tipos de suspensión que requiere de menos componentes.

Se compone de lo siguiente: un brazo inferior oscilante, unido por un lateral al bastidor mediante vástagos y por el otro a la mangueta con una rotula esférica. Es en la mangueta donde está fijado el muelle-amortiguador, el cual se encarga de cerrar el triángulo de la suspensión mediante su unión con el bastidor. Esta suspensión también suele utilizar barras estabilizadoras para mejorar la dinámica del vehículo.

Podemos observar sus componentes, para un eje motriz, en la figura inferior:

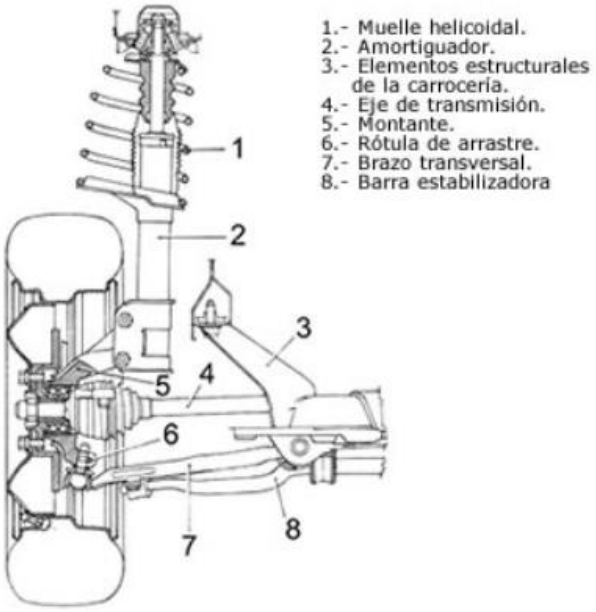


Figura 83. *Elementos principales de la suspensión McPherson (Fuente: km77)*

Figura 84. *Suspensión McPherson (Fuente: km77)*

Entre sus ventajas se destaca que necesita pocos componentes, que deja mucho espacio para el compartimento del motor, que permite alojar grandes recorridos de muelles y amortiguadores y que, por último, aparte de no tener influencia mutua entre las ruedas, es un sistema fácil de fabricar y barato en cuanto a los costes de producción. En contrapartida, tiene algunos inconvenientes, ya sean la transmisión de más vibraciones a la carrocería a través del pivote que une a ésta con el conjunto muelle-amortiguador o las peores propiedades cinemáticas con respecto a la suspensión de dobles triángulos superpuestos.

Por último, es interesante destacar una variante de la suspensión McPherson, denominada pseudo-McPherson. La diferencia más importante es la sustitución del brazo transversal por un triángulo inferior. En la suspensión McPherson clásica, se dispone de una barra estabilizadora como tirante longitudinal, mientras que en la pseudo-McPherson ya se absorben los esfuerzos longitudinales con la propia disposición del anclaje del triángulo inferior. Aunque se haya hecho este cambio, se mantiene el muelle-amortiguador como elemento de guía y también la estructura de triángulo articulado, y como beneficios se reducen los costes de producción y el peso de la suspensión

9.3. Elección del sistema de suspensión

Para poder analizar de una mejor manera los tipos de suspensiones explicados en el apartado anterior, se ha realizado la siguiente tabla comparativa:

Tabla 13. *Comparativa de los tipos de suspensión*

Propiedades	Suspensión de eje rígido	Suspensión de eje torsional	Suspensión de dobles triángulos	Suspensión multibrazo	Suspensión McPherson	Suspensión pseudo McPherson
Influencia entre ruedas	Poco satisfactorio	Moderado	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio
Peso	Poco satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio
Volumen	Poco satisfactorio	Satisfactorio	Poco satisfactorio	Poco satisfactorio	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio
Montaje Desmontaje	Satisfactorio	Muy satisfactorio	Moderado	Moderado	Satisfactorio	Satisfactorio
Coste	Muy satisfactorio	Muy satisfactorio	Moderado	Poco satisfactorio	Satisfactorio	Muy satisfactorio

Una vez se han estudiado todos los sistemas de suspensión mediante las explicaciones del apartado anterior y la tabla comparativa final, se ha llegado a la conclusión de que el mejor tipo de suspensión para nuestro vehículo es la pseudo-McPherson.

Se ha hecho esta elección, principalmente, porque es el sistema que tiene un menor coste, adecuándose a las exigencias de este proyecto, ya que se pretende ahorrar los máximos costes posibles. Por otra parte, también tiene un peso muy reducido, lo que favorecerá a la autonomía del vehículo, que es un parámetro crítico en los vehículos eléctricos actuales. Otra de las características que encaja con nuestro proyecto es su reducido volumen, ya que se pretende que sea lo más compacto posible para favorecer la circulación por vías urbanas, por no hablar de que cuanto más pequeñas sean dichas suspensiones, mejor será la adaptación con el chasis, que también es de pequeñas dimensiones. Por último, también se ha pretendido que el sistema de suspensión fuera del tipo independiente, para así tener el mejor control posible sobre las ruedas en todo momento.

Este tipo de suspensión se puede colocar tanto en el eje delantero como en el trasero (aunque este sea el eje motriz), así pues, para mayor simplificación en el montaje del vehículo se ha optado por incluir el sistema pseudo-McPherson en ambos ejes, teniendo una masa de 30kg en cada uno de ellos. Cabe decir, que tras la elección de este componente no se detalla un producto en concreto ya que cada fabricante desarrolla su propio sistema adecuándolo a las dimensiones y requerimientos de su vehículo.

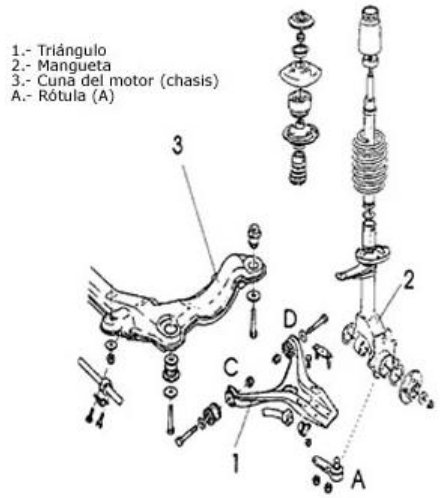


Figura 85. *Explosionado de una suspensión pseudo McPherson (Fuente: km77)*

10. Frenos

10.1. Introducción

Los frenos de un vehículo se consideran uno de los sistemas de seguridad más importantes, los cuales se utilizan para detener o disminuir la velocidad del automóvil en condiciones lo más favorables posibles, es decir, con eficacia, estabilidad, progresividad y confort.

Se puede decir que éstos actúan como transformadores de energía, ya que transforman la energía cinética de las ruedas en calor o trabajo. Precisamente, la generación de calor y su posterior disipación es uno de los grandes focos de desarrollo para las marcas, ya que un sobrecalentamiento de frenos implica la reducción drástica de su eficiencia (*fading*) llegando incluso a perder cualquier capacidad de frenado, con los riesgos que esto implica.

Actualmente, la norma española vigente exige que para un vehículo turismo debe haber dos sistemas de freno con mandos separados:

- Un sistema principal capaz de generar una deceleración de 5,8 m/s^2.
- Un sistema de urgencia capaz de producir una deceleración de 2,75 m/s^2.

La acción de cada sistema ha de ser lo suficientemente rápida y eficaz para que el vehículo pueda ser parado e inmovilizado en las pendientes más fuertes. De esta manera, el freno de mano debe poder mantener el vehículo parado sobre una pendiente de hasta el 18%.

10.2. Tipos de frenos

Principalmente existen dos grandes tipos de frenos, de disco y de tambor, la explicación de los cuales la veremos a continuación.

10.2.1. Frenos de tambor

El freno de tambor es un componente que realiza el frenado del vehículo mediante fricción. Dicha fricción se produce entre la superficie interior de un cilindro denominado tambor, que gira mecánicamente solidario a la rueda, y las zapatas, que permanecen fijas sobre un soporte solidario al chasis del vehículo.

Este tipo de frenos, pese a ser el más utilizado durante varias décadas, en la actualidad solamente se implanta en el eje trasero de algunos turismos de bajo peso y/o de baja gama.

Su funcionamiento es muy simple: cuando se acciona el pedal de freno, la presión hidráulica generada por la bomba de freno llega hasta el bombín, donde ejerce fuerza contra sus émbolos internos, desplazándose y haciendo pivotar las zapatas sobre su apoyo hasta contactar contra el tambor. De esta forma, mediante la fricción del ferodo de las zapatas y la pared interior del tambor se reduce la velocidad de la rueda o se hace que la rueda permanezca en reposo, si se acciona el freno de estacionamiento.

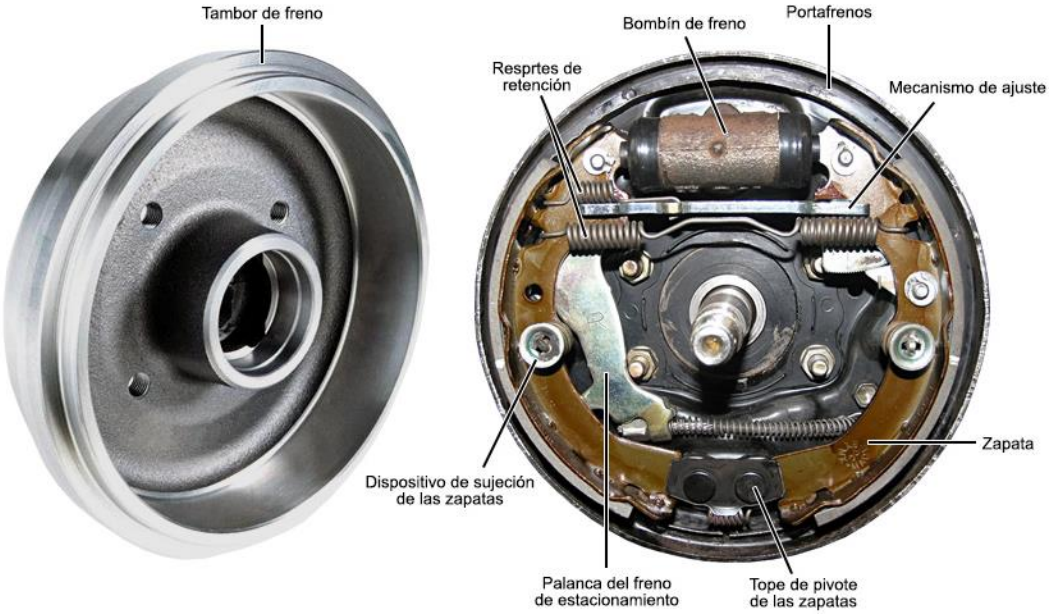


Figura 86. *Elementos principales de un freno de tambor (Fuente: Kashima university)*

Por último, dada una misma presión de accionamiento, la fuerza que desarrolla un freno de tambor depende de una serie de factores:

- **Diámetro de tambor**: a mayor diámetro se consigue un mayor efecto de palanca (par de frenado) sobre el eje de giro de la rueda, consiguiendo así una mayor fuerza de frenado y permitiendo instalar en su interior zapatas de mayor tamaño aumentando así la superficie de fricción.

- **Superficie de contacto entre la zapata y el tambor**: a mayor superficie de contacto, mayor fricción generada entre estos elementos y, por tanto, mayor será la potencia de frenado.

- **Punto de pivote de las zapatas**: La lejanía entre el punto de pivote y el bombín de freno (punto de accionamiento) es muy importante ya que cuanto mayor sea, mayor efecto de palanca tendrá dicho accionamiento.

10.2.2. Frenos de disco

Los frenos de disco, al igual que los frenos de tambor, también generan la fuerza de frenado por fricción. Básicamente, la transformación de la energía cinética del vehículo en calor se consigue mediante la fricción entre el disco y las pastillas de freno. El material del cual están hechos los discos de freno es determinante para su eficacia. Normalmente se realizan en acero, dejando para los vehículos de gran potencia el carbono o materiales carbocerámicos.

Actualmente, este tipo de frenos se utiliza siempre en el eje delantero y en la mayoría de casos también en el eje trasero del vehículo, con las excepciones descritas en el apartado anterior.

Su funcionamiento también es de gran simplicidad: los discos de freno se encuentran fijados a las ruedas, girando de manera solidaria a éstas mientras que las pastillas están situadas en las pinzas de freno, unidas mecánicamente a la mangueta o puente del vehículo. Cuando accionamos el pedal de freno, la presión hidráulica generada por la bomba de freno se transmite hacia las pinzas mediante las tuberías del circuito hidráulico. Una vez en el interior de las pinzas, la superficie plana de los pistones transforma la presión hidráulica en fuerza, lo cual provoca su desplazamiento, empujando así las pastillas contra el disco y provocando la fricción entre ambos para reducir la velocidad del vehículo o detenerlo.

Dentro de la familia de frenos de disco existen cuatro tipos diferentes, en relación al disco:

1. **Sólidos**: el disco es una pieza maciza, y por tanto no contiene ninguna cavidad Es el tipo de disco más simple.

2. **Ranurados**: el disco sigue siendo una pieza maciza, pero contiene ranurados en la pared exterior para mejorar la ventilación, a costa de perder un pequeño tanto por ciento de superficie de fricción.

3. **Ventilados**: el disco contiene un espacio dentro de él, al cual se le añaden ductos para que pase el aire generando un efecto ventilador, que refrigera dicho elemento desde su interior. Es el tipo de disco más común en coches de gama media.

4. **Hiperventilados**: es el mismo que un disco ventilado, pero además se incorporan pequeñas perforaciones y/o ranuras en la pared exterior para mejorar aún más la ventilación (figura 88). Este tipo de discos solo se utiliza en coches de alta gama y/o de gran potencia.

Como se ha hecho en el apartado anterior, se enumeran los factores de los cuales depende la fuerza de frenado para una misma presión de accionamiento hidráulico:

- **Diámetro del disco de freno**: a mayor diámetro, mayor efecto de palanca sobre el eje de giro de la rueda, generando una mayor fuerza o par de frenado.

- **Superficie de contacto entre la pastilla y el disco:** cuanto mayor sea dicha superficie, se provocará más fricción durante la frenada y consiguiendo así reducir la velocidad de giro de la rueda.

- **La superficie de trabajo hidráulico**: es la superficie comprendida entre el líquido de frenos y los émbolos receptores. Dicha superficie depende del diámetro y número de pistones que contiene cada pinza de freno.

Figura 87. *Elementos principales de un freno de disco (Fuente: Kashima university)*

10.3. Comparativa de tipos de frenos

Una vez se han explicado brevemente los tipos de frenos de disco actuales para automóviles, se realizará una pequeña comparación entre ambos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los frenos de tambor, pese a ser los más utilizados durante varias décadas, actualmente se relega su uso para vehículos de baja potencia o de gama baja, siempre en el eje trasero, debido al aumento de potencia que han sufrido los automóviles. Aunque este tipo de frenos presenta una mayor superficie de fricción, su diseño dificulta la disipación de calor generado durante la frenada propiciando la aparición de *fading* con relativa facilidad y, por tanto, con la potencia que tienen los vehículos actuales solamente se pueden incorporar en el eje trasero, eje donde no se necesita tanta potencia de frenado como en el eje delantero. Cabe decir que también se incorporan en vehículos de gama baja debido a su bajo coste.

Por otra parte, los frenos de disco son más sencillos, ligeros, precisos y eficaces que los frenos de tambor, utilizados siempre en el eje delantero y en la mayoría de casos también en el eje trasero. El peso de todos los componentes es inferior al de los frenos de tambor y por tanto se reduce la masa no suspendida del vehículo, y por ende el comportamiento y confort del vehículo cuando está en movimiento. Debido a su construcción, los frenos de disco también disponen de una mejor refrigeración, lo cual conlleva una fiabilidad y un rendimiento superior frente al otro tipo de frenos.

10.4. Elección del tipo de frenos

Con la explicación y posterior comparación de los tipos de frenos que existen actualmente en el mercado, se procederá en este apartado a escoger los más adecuados para nuestro vehículo. Dado que nuestro prototipo pertenece al segmento de coches eléctricos compactos, como el Renault Twizy o el Smart Fortwo, se ha decidido colocar un sistema de frenos parecido al que incorporan este tipo de vehículos, resumidos en la tabla 13. No obstante, debido a que contamos con menor potencia y unas dimensiones también menores, los componentes que incorporamos no llegan al rendimiento de los que emplean los vehículos anteriores, ya que no es necesario debido al uso urbano al cual está destinado y a la velocidad máxima alcanzable.

Tabla 14. *Comparativa del tipo de frenos entre vehículos de referencia*

	Eje delantero	Eje trasero
Renault Twizy	Discos macizos 214mm	Discos macizos 204mm
Smart Fortwo	Discos ventilados 258mm	Tambor 9”

Con todo esto, se ha decidido emplear en el eje delantero unos frenos de disco ventilados y ranurados de 256mm de diámetro, debido a la poca potencia de frenado que se demandará, la necesidad de una óptima refrigeración al ser desplazamientos urbanos y por su simplicidad y bajo coste, requerimientos básicos del proyecto.

Concretamente se utilizarán unos discos de freno de la marca Brembo, modelo 09.7011.75, los detalles de los cuales se encuentran en la tabla 15, acompañados de unas pinzas, o también llamadas *calipers*, también de la marca Brembo, modelo F.85.210 de un solo pistón, que son las correspondientes al disco escogido (tabla 14). Ambos elementos son compatibles con el sistema ABS y la masa del conjunto en el eje es de 13,5kg aprox.

Figura 88*. Pinzas Brembo para los frenos delanteros (Fuente: Autodoc)*

Tabla 15. *Características técnicas de las pinzas de freno delanteras*

Fabricante	A.B.S.
Tipo de pinza	Básica (ABS)
Número de émbolos	1
Diámetro [mm]	44
Espesor disco de frenos [mm]	22

Figura 89. *Discos de freno delanteros (Fuente: Autodoc)*

Tabla 16. *Características técnicas de los discos de freno delanteros*

Fabricante	Brembo
Diámetro [mm]	256
Tipo de disco	Ventilación interna, Ranurado
Diámetro de centrado [mm]	65
Número de orificios	5
Espesor del disco [mm]	22
Par de apriete [Nm]	120
Superficie	Revestido
Procesamiento	Altamente carbonizado

Por último, en el eje trasero también se montarán frenos de disco, pero en este caso los discos serán macizos y también ranurados, de 240mm de diámetro debido a que en el eje posterior se necesita menos potencia de frenado.

Como en el caso anterior, los discos serán de la marca Brembo, modelo 08.5085.75, los detalles de los cuales se encuentran en la tabla 17. Para este tipo de discos se necesitan unas pinzas de freno asociadas, esta vez de la marca A.B.S. y de modelo 430362, de un solo pistón, descritas en la tabla 16. Estos componentes también son compatibles con el sistema ABS y la masa del conjunto en el eje es de 13,5 kg aproximadamente.

Figura 90. *Pinzas de freno traseras (Fuente: Autodoc)*

Tabla 17. *Características técnicas de las pinzas de freno traseras*

Fabricante	A.B.S.
Tipo de pinza	Básica (ABS) con freno estacionamiento integrado
Número de émbolos	1
Diámetro [mm]	38
Espesor disco de frenos [mm]	11

Figura 91. *Discos de freno traseros (Fuente: Autodoc)*

Tabla 18. *Características técnicas de los discos de freno traseros*

Fabricante	Brembo
Diámetro [mm]	240
Tipo de disco	Macizo, Ranurado
Diámetro de centrado [mm]	59
Número de orificios	4
Espesor del disco [mm]	11
Par de apriete [Nm]	98
Superficie	Revestido

11. Ruedas

11.1. Introducción

Uno de los componentes esenciales de cualquier vehículo son sus ruedas, en concreto los neumáticos, ya que son los elementos de contacto mediante adherencia y fricción entre éstos y el pavimento, la finalidad de los cuales se enumera a continuación:

- Generar las fuerzas requeridas para obtener la posición deseada del vehículo en la carretera, incluyendo fuerzas longitudinales (tracción/frenada) o transversales (estabilidad).

- Soportar el peso del vehículo mediante fuerzas normales distribuidas en un área finita de contacto carretera-neumático.

- Proporcionar una parte de flexibilidad deseada para aislar (parcialmente) las masas suspendidas de las no suspendidas y de las irregularidades de la carretera.

Cabe decir que cuando hablamos de ruedas no solo nos referimos a los neumáticos, sino al conjunto formado por éstos y las llantas.

11.2. Descripción y nomenclatura

Todo neumático que se quiera comercializar sigue una nomenclatura, dictada por la ETRTO (The European Tire and Rim Technical Organization). Dicha nomenclatura sirve para identificar las propiedades y las dimensiones del neumático, lo cual es fundamental para la buena elección de éstos en función de las características del vehículo de destino.

Los elementos más importantes que incorporan se detallan en la siguiente figura:

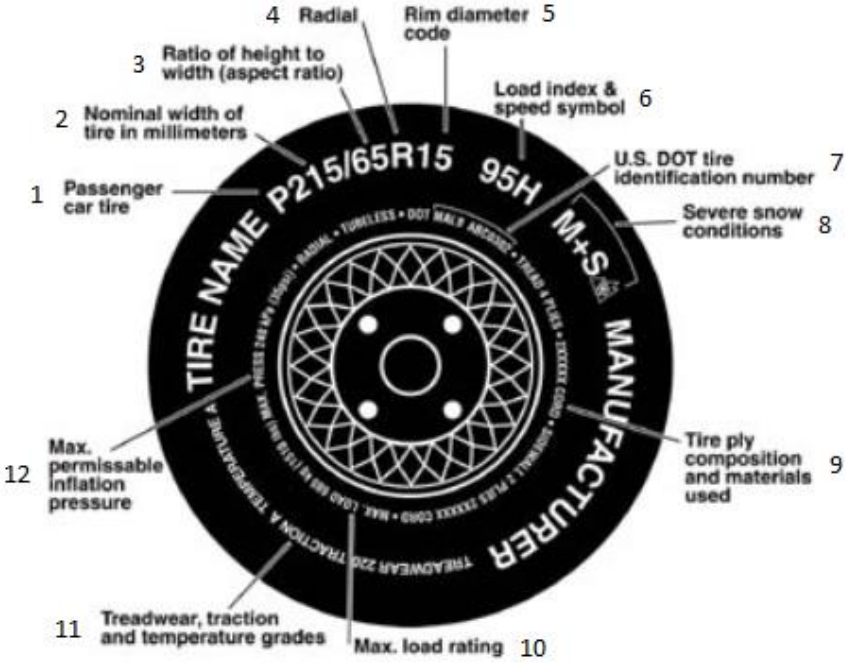


Figura 92. *Nomenclatura incorporada en los neumáticos (Fuente: ETRTO)*

Tabla 19. *Nomenclatura ETRTO para neumáticos*

Zona	Significado
1	Tipo de vehículo asociado al neumático
2	Anchura (en milímetros)
3	Perfil
4	Tipo de construcción (radial, diagonal o mixto)
5	Diámetro de la llanta
6	Índice de carga y código de velocidad
7	Cumplimiento de la normativa americana
8	Utilización del neumático
9	*Ply rating*, indica la resistencia del neumático
10	Capacidad máxima de carga
11	Banda de rodadura, tracción y temperaturas de trabajo
12	Presión máxima de inflado

11.3. Elección del neumático

Como ya se ha hecho en apartados anteriores, al ser este proyecto el diseño de un prototipo, sin la posibilidad de realizar pruebas empíricas, para la elección de este componente también tomaremos como referencia otros vehículos eléctricos del mismo segmento, a modo de guía.

También se han tenido en cuenta las dimensiones del vehículo: las ruedas tienen que encajar en las geometrías delantera y trasera del chasis, y las ruedas directrices, situadas en el eje delantero, tienen que tener el suficiente espacio para girar sin impactar contra el chasis. Tanto en el eje delantero como en el trasero, el espacio por rueda es de 350mm de ancho. Por último, una consideración que también se ha tenido en cuenta ha sido el uso al cual está destinado el vehículo.

En la tabla siguiente se recogen las dimensiones de los neumáticos que incorporan los vehículos eléctricos del mismo segmento que el nuestro:

Tabla 20. *Medidas de neumáticos de los vehículos de referencia*

	Eje delantero	Eje trasero
Renault Twizy	125/80 R13	145/80 R13
Smart Fortwo	165/65 R15	185/60 R15

Con todo esto, para el eje delantero se ha optado por utilizar unos neumáticos con medidas 165/65 R15 de la marca Michelin, y para el eje trasero con medidas 185/60 R15, también del mismo fabricante y ligeramente más anchas, para tener el mayor agarre posible ya que este eje es el de tracción. Estos neumáticos, similares a los del Smart Fortwo, son compatibles con las medidas del chasis anteriormente descritas y podemos decir que son unos neumáticos estándar para cualquier vehículo utilitario de pequeñas dimensiones, como es nuestro caso, y además destinado para un uso mayoritariamente urbano. El conjunto neumático-llanta tiene una masa de 20 kg aproximadamente.

A continuación, se detallan las características técnicas de los neumáticos escogidos:

Tabla 21. *Características técnicas de los neumáticos*

	Anchura (mm)	Perfil (mm)	Tipo de construcción	Diámetro llanta (pulgadas)	Índice de carga	Índice de velocidad	Llanta
Eje delantero	165	65	R	15	81	T	5J x 15
Eje trasero	185	60	R	15	84	H	5,5J x 15

Como se puede ver, los neumáticos de ambos ejes son de construcción radial, que es lo más común en la actualidad. El índice de carga es un código que hace referencia a la masa máxima que puede soportar cada rueda, en nuestro caso, los índices 81 y 84 se refieren a 462kg y 500kg, respectivamente. Por otra parte, el índice de velocidad nos indica la velocidad lineal máxima que puede soportar el neumático, también expresada mediante un código. Las letras T y H hacen referencia a 190km/h y 210km/h respectivamente, velocidades muy por encima de nuestro límite, por tanto, no se corre ningún riesgo en la implementación de estos neumáticos en nuestro vehículo, tanto para la carga como para la velocidad.

Por último, también se muestran las dimensiones que han de tener las llantas asociadas a estos neumáticos. Si cogemos como ejemplo el eje delantero, el número 5 se refiere a la anchura de la llanta en pulgadas, la letra corresponde al perfil de la pestaña de la llanta (siendo J la letra más común, perteneciente a vehículos turismo) y, por último, el número 15 indica su diámetro, también en pulgadas.

Figura 93. *Michelin Energy Saver 165/65 R15 (Fuente: Norauto)*

12. Asientos

Si nos referimos al interior de cualquier vehículo, uno de los elementos más importantes que allí se encuentran son los asientos. Éstos son los encargados de proporcionar, por una parte, comodidad mediante sus acolchados y multitud de ajustes de posición, y, por otra parte, seguridad a los ocupantes mediante la integración con los sistemas de retención, como el cinturón.

Para la elección de los asientos de nuestro vehículo nos hemos centrado en las premisas que hemos seguido hasta ahora, es decir, simplicidad, ligereza y bajo coste. Por tanto, adecuándose a estas premisas, los asientos de tipo baquet son los que mejor encajan dada la filosofía del proyecto. Este tipo de asientos son muy habituales en los vehículos de competición, ya que se caracterizan por su bajo peso, su simplicidad estructural y su reducido volumen. Por otra parte, la comodidad no es su punto fuerte debido a la falta de acolchados y su reducido número de ajustes de posición ergonómica. No obstante, se cree conveniente el uso de este tipo de asientos ya que aportará las ventajas mencionadas anteriormente y sus deficiencias no serán de gran importancia ya que el uso al cual va destinado el prototipo no implica grandes desplazamientos y, por ende, el tiempo que se está dentro del vehículo tiende a ser reducido.

Particularmente, se utilizarán semi baquets, ya que son fácilmente homologables para la circulación por vías públicas, están habilitados para la incorporación de un cinturón convencional de tres puntos y cuentan con múltiples configuraciones de posición.

En concreto se han escogido unos semi baquets de la marca Montecarlo, con número de identificación BAK108TN, las medidas de los cuales son compatibles con el habitáculo. La estructura de estos asientos es tubular, su respaldo es reclinable y mediante las guías correderas también se puede ajustar la distancia hacia el volante y los pedales, proporcionando el mayor número de ajustes posibles. La masa de cada uno de ellos es de 8kg aproximadamente.

Figura 94. *Semi baquet Montecarlo (Fuente: MFC Motor)*

Las principales medidas de los asientos escogidos se detallan a continuación:

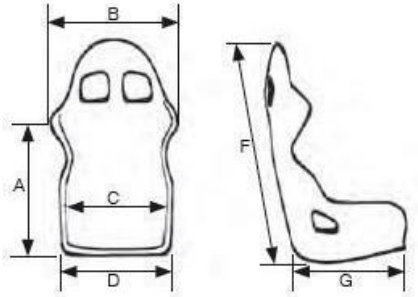


Figura 95. *Identificación de las medidas de los asientos semi baquet (Fuente: MFC Motor)*

Tabla 22. *Medidas de los asientos semi baquet (Fuente: MFC Motor)*

Medidas en cm.					
A	**B**	**C**	**D**	**F**	**G**
66	52	37	50	94	55

13. Especificaciones técnicas

Tabla 23. *Especificaciones técnicas del prototipo*

ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO	
Número de plazas	2
Tipo de batería	LG Chem
MOTOR	
Potencia máx. [kW]	200
Par máx. [Nm]	250
BATERÍA	
Capacidad útil [kWh]	40
Tensión total [V]	400
Tecnología	Ion-Litio
Número de módulos/celdas	12/192
Peso de la batería [kg]	300kg
TIEMPOS DE CARGA	
Toma doméstica 2,3kW (monofásico 10A) (0/100%)	25h
Toma de seguridad Green-Up 3,7kW (monofásico 16A) (0/100%)	15h
3,7kW (borne trifásico 16A) (0/100%)	15h
7,4kW (borne monofásico 32A) (0/100%)	7h 25min
11kW (borne trifásico 16A) (0/100%)	4h 30min
22kW (borne trifásico 32A)	2h 40min
43kW (borne trifásico 63A) (80% de batería cargada)	1h 40min
AUTONOMÍA	
Autonomía [km]	450
LLANTAS Y NEUMÁTICOS	
Dimensión de neumáticos	165/65 R15 – 185/60 R15
Llantas	15”
PRESTACIONES	
Velocidad máxima [km/h]	80
FRENADA	
Delantera	Discos ventilados y ranurados 256mm
Trasera	Discos macizos y ranurados 240mm
MASA [KG]	
TARA(1)	800
MMA(2)	1140

(1) TARA: Característica de los vehículos correspondiente a su peso en vacío en orden de marcha. En este caso se ha hecho la suma de los componentes detallados anteriormente y una estimación del peso de otros componentes como el sistema de aire acondicionado, dirección, carrocería, etc.
(2) MMA: Masa Máxima Autorizada. Masa máxima que puede tener un vehículo al circular por la vía pública una vez cargado.

14. Package

Una vez se han analizado todos los componentes del vehículo y se ha realizado una tabla de especificaciones técnicas a modo de resumen, se ha creído conveniente mostrar la disposición de los componentes más importantes, para obtener una mejor visualización del esqueleto del prototipo.

En las imágenes siguientes se muestra el chasis, el grupo propulsor, la batería, las ruedas y finalmente los asientos, que nos aportan una primera impresión de las dimensiones y habitabilidad del interior del vehículo.

Figura 96. *Vista 1 del package del vehículo*

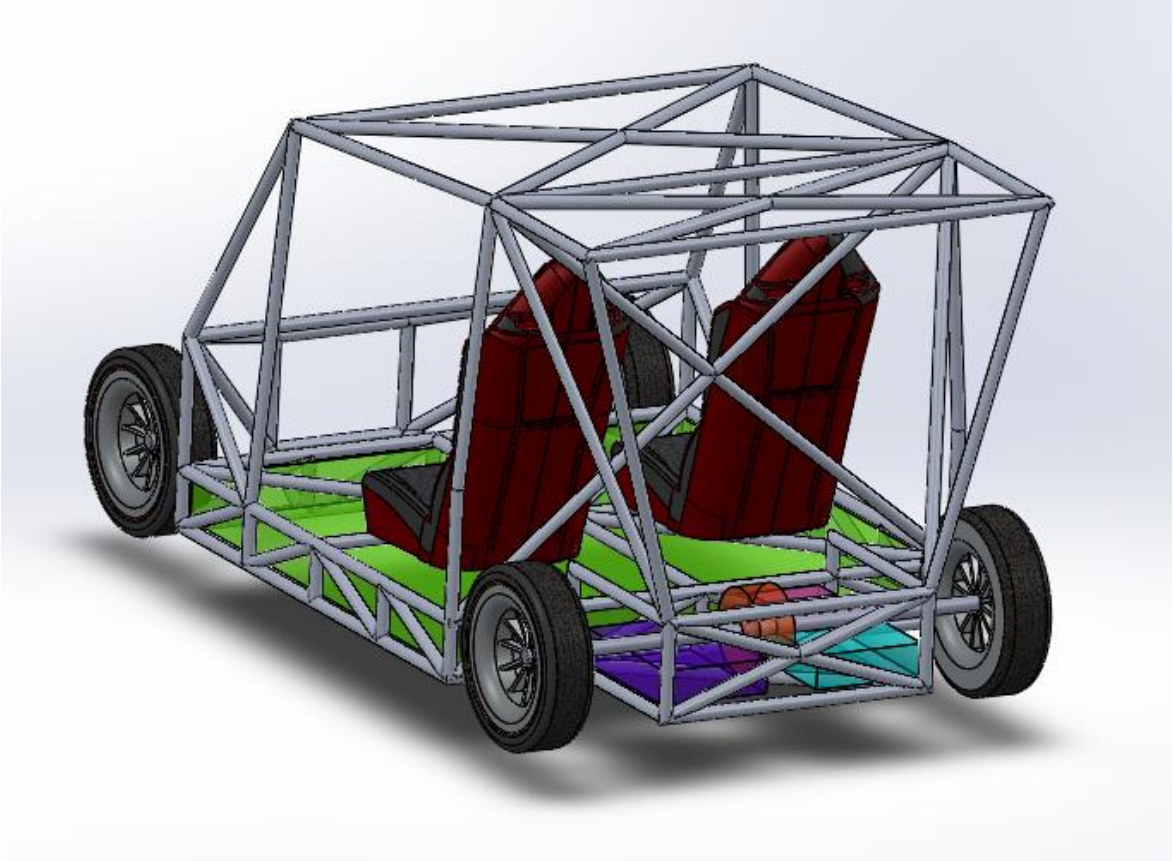


Figura 97. *Vista 2 del package del vehículo*

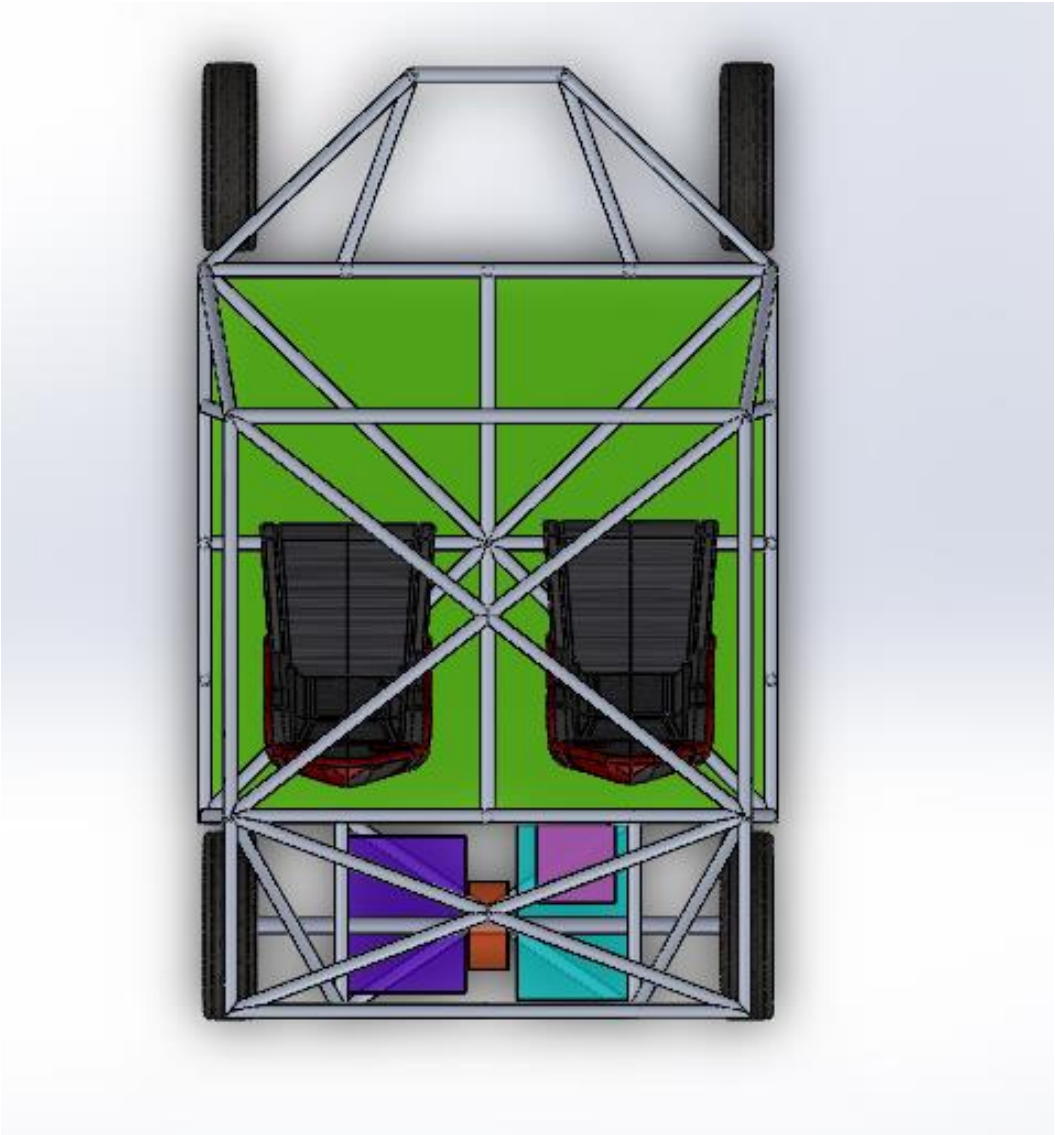


***Figura 98**. Vista 3 del package del vehículo*

Batería
Inversor
ECU
Motor eléctrico
Cargador

15. Análisis del impacto ambiental

El estudio del impacto ambiental tiene como objetivos identificar, valorar y describir los impactos ambientales que producirá un proyecto en su entorno.

Para el estudio ambiental de nuestro proyecto partimos de la base de que se trata de un prototipo. Por ello, este estudio ambiental se centrará en el impacto del vehículo durante su vida útil y al final de su vida útil. También se comparará con el impacto que tiene un vehículo de combustión interna durante las mismas fases del análisis. Cabe decir que dicha comparativa se desarrolla en los casos más extremos.

15.1. Impacto ambiental durante la vida útil.

Para evaluar y comparar el impacto que produce un vehículo eléctrico frente a un vehículo con motor de combustión interna primeramente tenemos que buscar los consumos medios de ambos vehículos. En este caso, dichos consumos serán el de nuestro vehículo frente al del Smart Fortwo con motor de gasolina, ya que es un vehículo muy similar al nuestro:

- Consumo vehículo eléctrico: 14kWh/100km
- Consumo vehículo con motor de combustión interna: 6,2 l/100km

El siguiente paso es ver cuáles son sus emisiones de CO_2, directa o indirectamente:

- Emisiones CO_2 de un vehículo eléctrico: 34,4 g/km
- Emisiones CO_2 vehículo con motor de combustión interna: 139 g/km

Hay que tener en cuenta que la electricidad que un vehículo eléctrico consume se genera en las diversas fuentes de producción disponibles en cada país. Para ponernos en el caso más desfavorable consideraremos que toda la energía eléctrica que consume el vehículo proviene de fuentes no renovables, que en su conjunto por cada MWh de producción eléctrica emiten 0,246 tCO_2 a la atmósfera. De esta forma, indirectamente nuestro vehículo eléctrico emite 34,4 gCO_2/km, con lo que ya se reducen hasta 4 veces las emisiones de CO_2 a la atmósfera con el uso de dicho vehículo, lo cual es de verdadera importancia.

Además, el hecho de que estas emisiones se produzcan localmente en las factorías de producción hace que puedan estar mejor reguladas que en el caso de un vehículo de combustión, ya que en vez de un foco de emisión tenemos millones.

15.2. Impacto al final de su vida útil

En este apartado nos centraremos en el elemento más difícil de reciclar, las baterías. Una vez el coche es inservible o la propia batería de éste, el reciclaje de dicho componente es el aspecto que más preocupa a los especialistas entorno a la movilidad eléctrica. Actualmente, varias empresas que fabrican coches eléctricos firman contratos con otras empresas para la reutilización de esas baterías en forma de almacenamiento de energía.

Al tratarse de una batería de litio, es posible recuperar el 90% de los materiales. Una vez la batería ha llegado al fin de sus días es posible desmontarla y rehabilitarla o reciclarla. En el caso de nuestro vehículo, el propio fabricante de baterías LGChem se encargaría de rehabilitar las células para recuperar parte de los metales que se han perdido durante su uso.

Conclusiones

Una vez concluido este proyecto podemos determinar que se ha cumplido con el objetivo general impuesto, diseñar un vehículo eléctrico de pequeñas dimensiones a partir de la creación de su chasis y la elección idónea del resto de sus componentes.

Específicamente, no ha sido de gran facilidad el diseño del chasis ya que se contaban con pocas referencias de estructuras tubulares para vehículos convencionales, y estas no se asemejaban al tipo de estructura que teníamos como objetivo. Es por esto que nuestro chasis guarda mucha más semejanza con el de un *buggy*, que dadas las características particulares de este tipo de vehículos: ligeros, de pequeñas dimensiones y gran agilidad, fueron una mejor referencia para la creación de nuestro chasis.

En referencia a la simulación del chasis, no se contaba con experiencia previa en la realización de este tipo de estudios en estructuras tubulares, no obstante, se han conseguido los resultados marcados como objetivo. Debido a la inexistencia de un reglamento claro y específico sobre las pruebas de esfuerzos a realizar en un chasis comercial, solamente se han hecho dos tipos de pruebas, siendo éstas las más importantes en materia de integridad estructural y rigidez estática. En particular, la prueba con más importancia para nosotros ha sido la de rigidez, finalmente cumpliéndose con éxito el objetivo marcado de obtener una rigidez torsional estática con valores entre 10.000 Nm/° y 20.000 Nm/°. Por último, cabría la posibilidad de desarrollar una simulación mucho más al detalle, mediante el estudio local de cada uno de los nodos de la estructura, no obstante, dicho énfasis no era el objeto del presente trabajo.

Si nos centramos en los componentes del vehículo, los más importantes son el motor eléctrico y las baterías. Por lo que respecta al motor, tras un amplio proceso de selección, se ha encontrado satisfactorio el hecho de incorporar un novedoso motor de flujo axial, el cual seguramente revolucionará el coche eléctrico tal y como lo conocemos actualmente, dadas sus características como su altísima densidad de potencia, su compacidad o su peso. En lo que a baterías se refiere, se ha hecho especial hincapié en mostrar cuáles son sus componentes, cómo funcionan y los diferentes tipos que hay, ya que entendemos que es la parte más crítica de un vehículo eléctrico actual, refiriéndonos a su autonomía. Finalmente, también consideramos que ha sido exitosa la elección de las mismas, ya que las baterías LG Chem

incorporan tecnologías tales como una alta densidad de energía, que aseguran maximizar la autonomía de nuestro vehículo, objetivo clave de su desarrollo.

Los otros componentes del vehículo, aunque también de importancia, no eran tan críticos como los mencionados en el parágrafo anterior, ya que no son componentes específicos de un vehículo eléctrico, sino que se han seleccionado a bien de las características que queríamos otorgar a nuestro vehículo, cumpliéndose así el objetivo marcado de seguir las directrices de simplicidad, bajo peso y el menor coste posible sin sacrificar la calidad.

En paralelo al desarrollo del vehículo, también se encontró oportuno realizar un estudio del panorama europeo de cara al futuro, en cuanto a legislación en materia de energía se refiere. Una vez hecho el estudio, se ha llegado a la conclusión de que con los medios e infraestructuras que se disponen actualmente, sería de gran dificultad adecuarse a las reglamentaciones futuras de la UE y por tanto de aplicación en el estado español, necesitándose grandes presupuestos e inversiones para ello, a parte de un cambio hacia un pensamiento más sostenible por parte de la sociedad.

Por último, también encontramos de gran importancia que el proyecto tuviese un apartado en el cual se realizase un estudio a pie de calle por parte de sus autores, para establecer un contacto con la realidad y ajustarse a las necesidades verdaderas. El estudio se basó en el conteo del número de ocupantes de los vehículos que circulan por una ciudad, llegándose a la conclusión de que con un vehículo biplaza se aprovecharían todas las plazas del mismo y se reduciría drásticamente el número de vehículo que circulan actualmente, en favor de poblaciones menos congestionadas por el tráfico y con mucha menos contaminación ambiental y acústica, lo cual es un tema de urgencia actual.

Hasta ahora se han descrito veredictos y conclusiones referidas directamente al objeto de estudio de este proyecto, es decir, del vehículo eléctrico. No obstante, también se han extraído otras conclusiones, quizás de mayor componente didáctica y personal, las cuales se enumeran a continuación:

- Se ha experimentado, a grandes rasgos, el proceso de creación y elección de componentes de un vehículo, algo que hasta ahora no habíamos tenido la oportunidad de realizar y que ha sido de suma satisfacción.

- Se han desarrollado nuevos conocimientos a los ya adquiridos en el grado en materia de *software*, tanto de diseño como de simulación y se han dado cuenta de las dificultades surgidas en su utilización, parte fundamental del aprendizaje autónomo.

- Se ha tomado contacto con profesionales del sector de la automoción y la simulación estructural de componentes, lo cual ha sido muy enriquecedor para los autores.

- Nos hemos cerciorado de la importancia de toda la infraestructura necesaria para adaptar profundamente el vehículo eléctrico en nuestra sociedad y la gran necesidad de generar energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

En conclusión, con la realización de este proyecto se han abordado temas que no han sido suficientemente desarrollados en las asignaturas del grado, se ha comprobado la complejidad del mundo de la automoción y se ha potenciado la resolución de problemas intrínsecos al trabajo y aprendizaje autónomo, lo cual se considera de gran riqueza para los autores de este proyecto.

Presupuesto

En este apartado se presenta el desglose de los costes del proyecto. Cabe decir que, aunque el proyecto se centra en el diseño y análisis del vehículo, también se incluyen los costes de fabricación. En referencia a estos últimos, es importante destacar que representan únicamente la fabricación de forma artesanal de un solo vehículo, a modo de prototipo.

Los costes se han distribuido en 3 apartados diferentes. El primero de ellos hace referencia a los costes de diseño y simulación, en concreto al precio de las licencias del *software* utilizado. En el segundo apartado encontramos los costes de producción, que engloban los costes del material, de los componentes y de la fabricación del prototipo, y el último apartado trata sobre los costes de ingeniería. Para concluir, se han detallado los costes totales del proyecto.

Antes de detallar los costes mencionados anteriormente tenemos que tener en cuenta lo siguiente:

- El material de construcción del chasis se ha comprado al por menor, ya que el objetivo del proyecto es hacer un prototipo, por lo tanto, el precio del material es más alto que si se compra al por mayor para realizar una fabricación en serie.

- Los costes de ingeniería pertenecen a ingenieros acabados de graduar y por tanto con el rango "júnior".

- En las horas de dedicación de los ingenieros se han tenido en cuenta las horas de diseño, investigación y realización del proyecto.

Costes de diseño y simulación

Tabla 24. *Detalle de los costes de diseño*

Concepto	Unidades	Precio Un. (con IVA) [€]	Precio final [€]
Licencias MS Office	2	130	260
Licencia Solidworks Student	1	135	135
Licencia ANSYS Student	1	0	0
TOTAL			**395**

Costes de producción

Tabla 25. *Detalle de los costes del material*

Concepto	Unidades	Precio Un. (con IVA) [€]	Precio final [€]
Tubos 7020-T6 34 x 4	70m	4,92€/m	344,4

Tabla 26. *Detalle de los costes de los componentes*

Concepto	Unidades	Precio Un. (con IVA) [€]	Precio final [€]
Motor flujo axial	1	6.000	6.000
Inversor	1	1.900	1.900
Cargador-Conversor	1	2.800	2.800
ECU	1	350	350
Kit de suspensiones(1)	1	683	683
Discos de freno delanteros	2	35,30	70,60
Discos de freno traseros	2	20,90	41,80
Pinzas de freno delanteras	2	68,85	137,70
Pinzas de freno traseras	2	62,68	125,36
Neumáticos delanteros	2	64,95	129,90
Neumáticos traseros	2	68,95	137,90
Llantas 5J x 15	2	65,80	131,60
Llantas 5,5J x 15	2	67,80	135,60
Asientos	2	149	298
TOTAL			**12.977**

(1) Precio basado en las suspensiones de un Smart Fortwo.

Tabla 27. *Detalle de los costes de fabricación*

Concepto	Horas	Precio/hora [€]	Precio final [€]
Preparación de barras	20	40	800
Soldadura	32	40	1.280
Montaje	40	40	1.600
TOTAL			**3.680**

Costes de ingeniería

Tabla 28. *Detalle de los costes de ingeniería*

Concepto	Trabajadores	Precio/hora [€]	Horas	Precio final [€]
Ingeniero júnior	2	20	1.200	24.000

Costes totales

Tabla 29. *Detalle de los costes totales*

Concepto	Precio final [€]
Costes de diseño	395
Costes de producción	17.001,4
Costes de ingeniería	24.000
TOTAL	**41.396,4**

Como se observa en la tabla anterior, el coste de la realización del prototipo es muy elevado, ya que éste implica todo el I+D del proyecto. Además, el coste de la fabricación de una sola unidad es siempre mucha más caro en comparación a una producción en serie, basándose simplemente en la economía de escala.

Por otra parte, no se ha hecho una estimación de un hipotético valor de venta del vehículo ya que, al faltar la carrocería y los elementos de confort interiores, dicha cifra carecería de rigurosidad.

Reparto de tareas

Aunque las tareas han sido siempre compartidas entre los dos miembros del grupo para tomar las decisiones convenientes, se ha hecho un reparto de las tareas tal y como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 30. *Distribución de las tareas del proyecto*

Tarea	Autor
Prefacio	Ambos autores
Introducción	Ambos autores
Estudio de viabilidad energética	Ferran Caballo
Trabajo de campo	Ambos autores
Chasis	Raúl Cabero
Simulación del chasis	Ferran Caballo
Batería	Raúl Cabero
Sistema de tracción	Raúl Cabero
Componentes mecánicos	Ferran Caballo
Especificaciones técnicas	Ambos autores
Packaging	Ambos autores
Análisis ambiental	Ambos autores
Conclusiones	Ambos autores
Presupuesto	Ambos autores
Anexos	Ambos autores

Bibliografia

Bibliografía de consulta

[1] ROS, JOSE; BARRERA, OSCAR, 2017, *Vehículos eléctricos e híbridos*. Madrid: Paraninfo.

[2] ALONSO PEREZ, JOSE, 2010, *Técnicas del automóvil. Chasis*. 8. Madrid: Paraninfo

[3] ROLDAN VILORIA, JOSE, 2008, *Motores eléctricos*. 9. Madrid, España: Paraninfo.

[4] ROLDAN VILORIA, JOSÉ, 2005, *Motores eléctricos. Accionamiento de máquinas. 30 tipos de motores*. 4. Madrid: Thomson Editores.

[5] OROVIO ASTUDILLO, MANUEL, 2014, *Tecnología del automóvil*. 1. Madrid: Paraninfo.

[6] COCA, PEDRO; HUFNAGEL, W, 2009, *Manual del aluminio*. Madrid: Reverté.

[7] REIMPELL, JÖRNSEN; STOLL, HELMUT; BETZLER, JURGEN, 2014, *The Automotive Chassis*. Saint Louis: Elsevier Science.

[8] RÍOS, ORLANDO, 1998, *La suspensión: automóviles de competición.* Barcelona: Grupo Editorial Ceac S.A.

[9] ARIAS-PAZ GUITIAN, MANUEL, 2008, *Manual de automóviles*. Madrid: CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000.

[10] LUZON, JAVIER, 2019, *Configuraciones de carrocerías.* Barcelona: ASAM.

[11] LUZON, JAVIER, 2019, *Dinámica del vehículo.* Barcelona: ASAM.

[12] LUZON, JAVIER, 2019, *Suspensiones.* Barcelona: ASAM.

[13] Web Comisión Europea. Acuerdo de París. (U.A. 3 Feb. 2019)

https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_es

[14] Web Ley de Cambio Climático y Transición Energética. (U.A. 9 Feb. 2019)

http://www.lccte.gob.es/Paginas/index.aspx

[15] Web Red Eléctrica Española. (U.A. 11 Feb. 2019)

https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales

[16] Web CORES. (U.A. 12 Feb. 2019)

https://www.cores.es/es/estadisticas

[17] Web DGT. Censo de conductores. (U.A. 12 Feb. 2019)

http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/censo-conductores/

[18] Web DGT. Datos de turismos. (U.A. 12 Feb. 2019)

https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB_IEST_CONSULTA/configurarInformePredefinido.faces

[19] Web Vehicle Dynamics. (U.A. 27 Feb. 2019)

https://www.vehicledynamicsinternational.com/online-magazines

[20] Web Automotive Testing. (U.A. 4 Mar. 2019)

https://www.automotivetestingtechnologyinternational.com/online-magazines

[21] Web Diariomotor. Baterías de coches eléctricos. (U.A. 13 Mar. 2019)

https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/03/14/baterias-de-coches-electricos-e-hibridos-hoy-estado-de-la-tecnologia-del-automovil/

[22] Web ANSYS. Help. (U.A. 3. Abr. 2019)

https://www.ansys.com/services/

[23] Web LG Chem. (U.A. 13 Abr. 2019)

https://www.lgchem.com/global/main

[24] Web Magnax. (U.A. 23 Abr. 2019)

https://www.magnax.com/

[25] Web Kashima University. (U.A. 2 May. 2019)

http://kashima.campuseina.com/

[26] Web Autodoc. Frenos. (U.A. 5 May. 2019)

https://www.autodoc.es/

[27] Web Norauto. Neumáticos. (U.A. 7 May. 2019)

https://www.norauto.es/

[28] Web MFC Motor. Baquets. (U.A. 8 May. 2019)

http://www.mfcmotor.es/

Anexo A

En el anexo A se incluyen los planos pertenecientes al chasis del vehículo:

A1. Vista general

A2. Techo, maletero y base

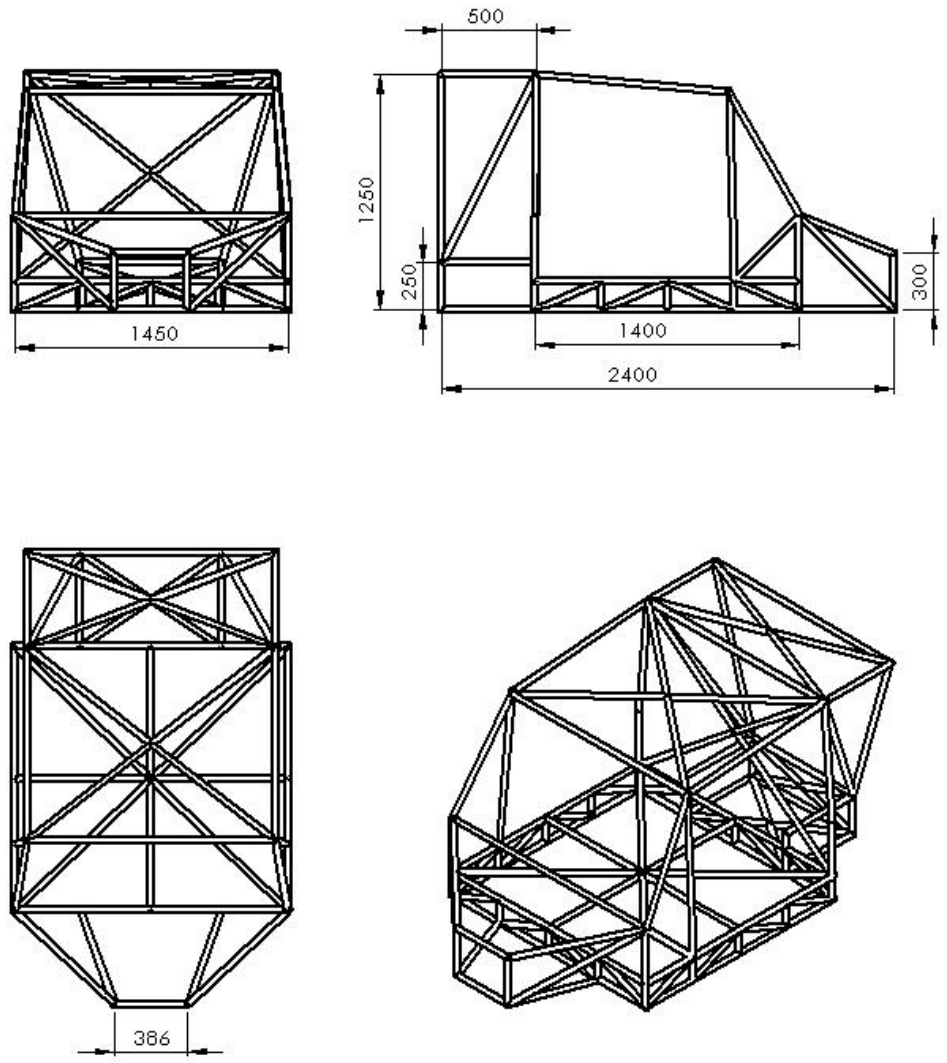
A3. Techo y estructura parabrisas

A4. Refuerzo capó y jaula de baterías

A5. Jaula de baterías y refuerzo del maletero

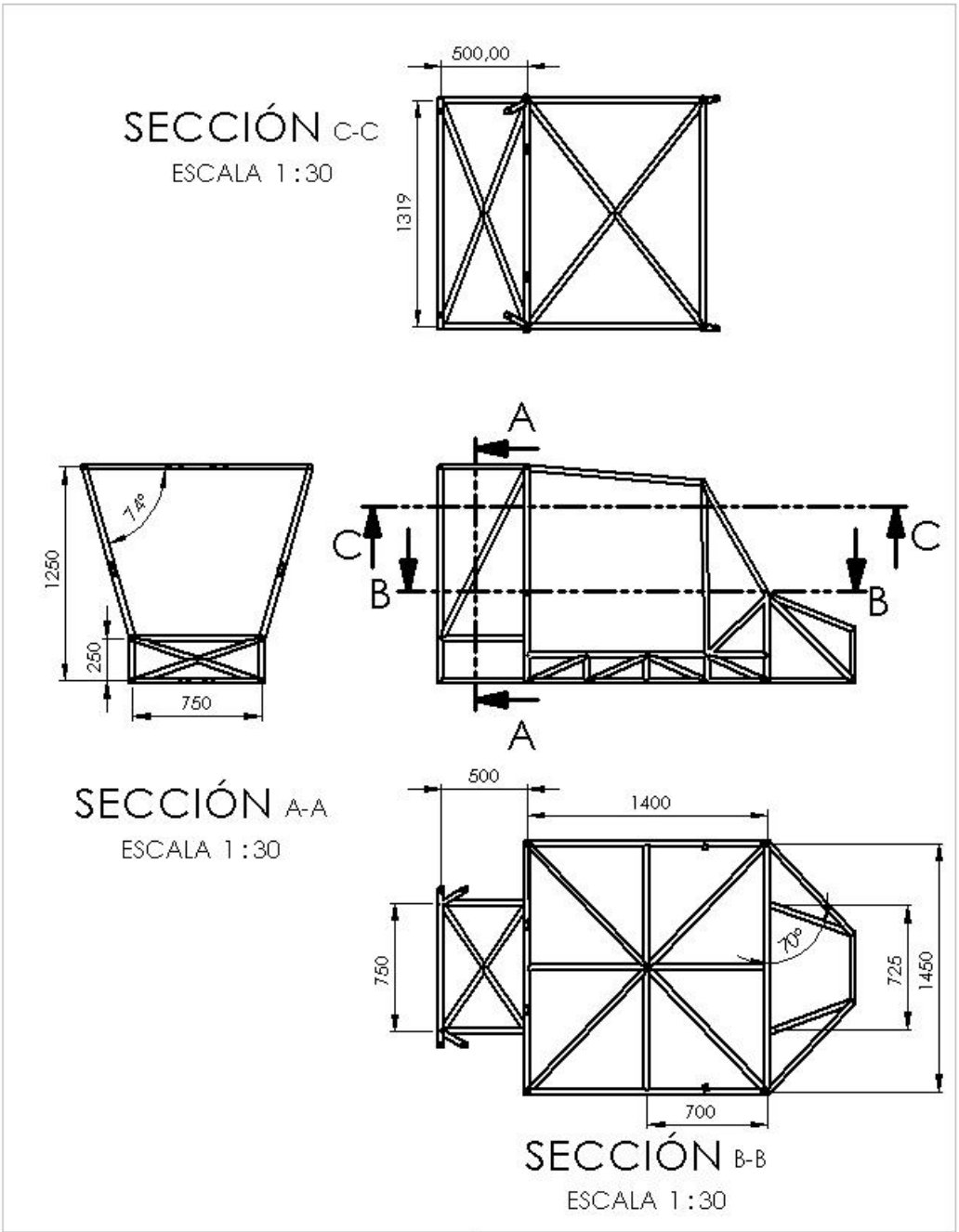
A6. Capó y refuerzo del marco del parabrisas

A1. Vista general



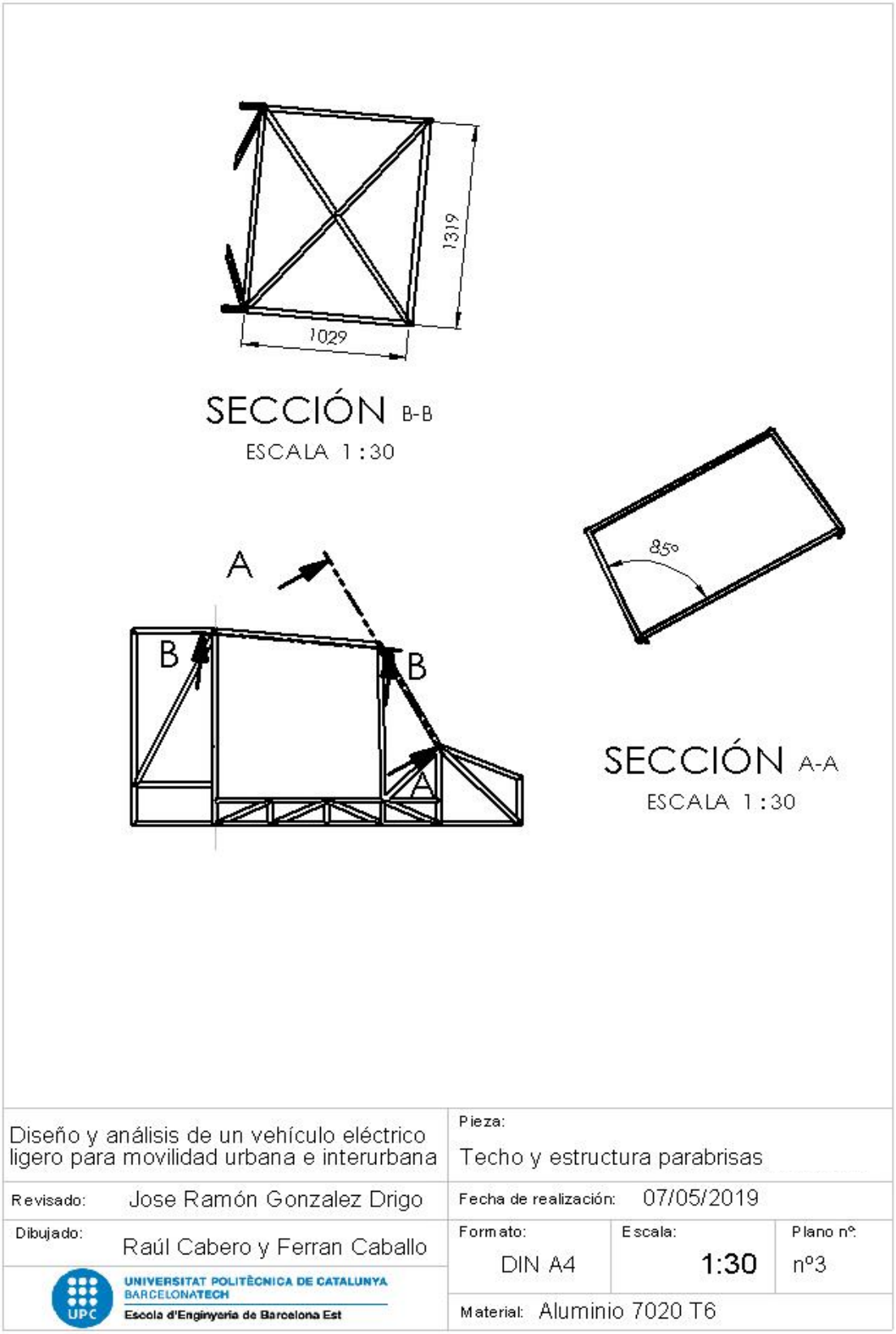
Diseño y análisis de un vehículo eléctrico ligero para movilidad urbana e interurbana	Pieza: Vista general		
Revisado: Jose Ramón Gonzalez Drigo	Fecha de realización: 07/05/2019		
Dibujado: Raúl Cabero Ferran Caballo	Formato: DIN A4	Escala: 1:30	Plano nº: nº1
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est	Material: Aluminio 7020 T6		

A2. Techo, maletero y base

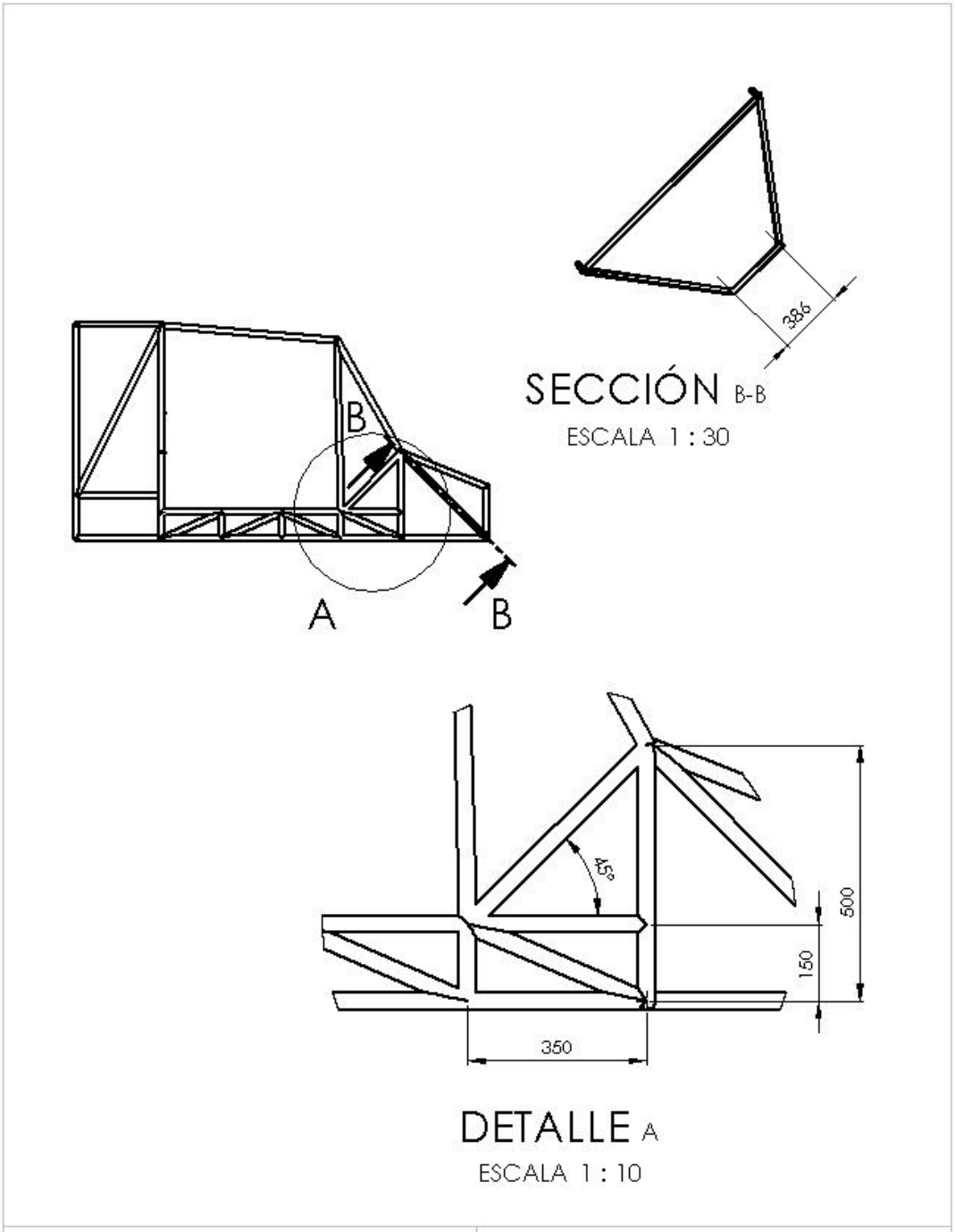


Diseño y análisis de un vehículo eléctrico ligero para movilidad urbana e interurbana	Pieza: Techo, maletero y base		
Revisado: Jose Ramón Gonzalez Drigo	Fecha de realización: 07/05/2019		
Dibujado: Raúl Cabero y Ferran Caballo	Formato: DIN A4	Escala: 1:30	Plano nº: nº2
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est	Material: Aluminio 7020 T6		

A3. Techo y estructura parabrisas

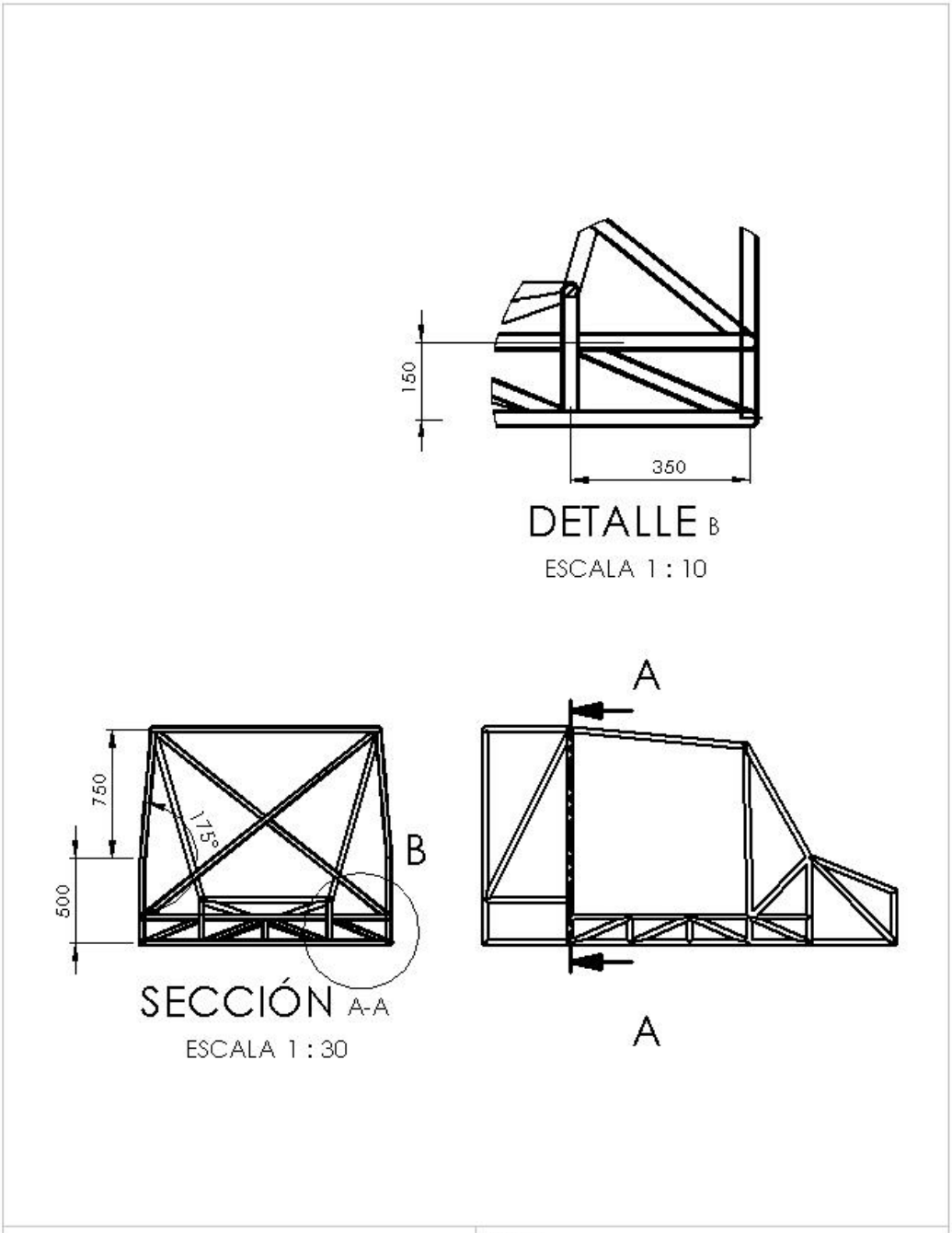


A4. Refuerzo capó y jaula de baterías



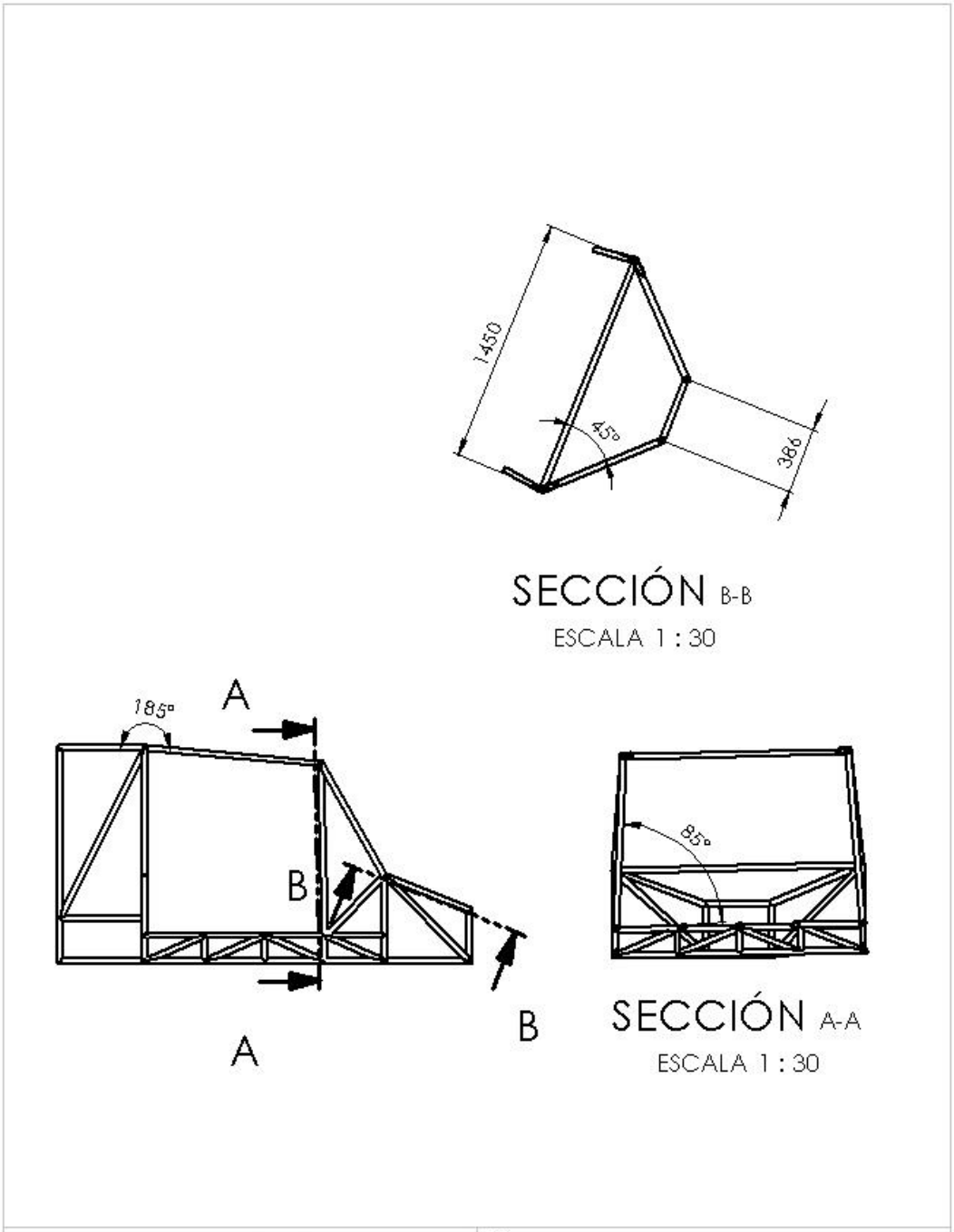
Diseño y análisis de un vehículo eléctrico ligero para movilidad urbana e interurbana		Pieza: Refuerzo capó y jaula de baterias	
Revisado: Jose Ramón Gonzalez Drigo		Fecha de realización: 08/05/2019	
Dibujado: Raúl Cabero y Ferran Caballo		Formato: DIN A4	Escala: 1:30	Plano nº: nº4
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est		Material: Aluminio 7020 T6	

A5. Jaula de baterías y refuerzo del maletero



Diseño y análisis de un vehículo eléctrico ligero para movilidad urbana e interurbana		Pieza: Jaula de baterías y refuerzo del maletero	
Revisado: Jose Ramón Gonzalez Drigo		Fecha de entrga: 08/05/2019	
Dibujado: Raúl Cabero y Ferran Caballo		Fromato: DIN A4	Escala: 1:30	Plano nº: nº5
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est		Material: Aluminio 7020 T6	

A6. Capó y refuerzo del marco del parabrisas



Diseño y análisis de un vehículo eléctrico ligero para movilidad urbana e interurbana	Pieza: Capó y refuerzo del marco del parabrisas		
Revisado: Jose Ramón Gonzalez Drigo	Fecha de realización: 08/05/2019		
Dibujado: Raúl Cabero y Ferran Caballo	Formato: DIN A4	Escala: 1:30	Plano nº: nº6
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est	Material: Aluminio 7020 T6		

Anexo B

En el anexo B se incluye el consumo final de productos petrolíferos y las tablas de generación y consumo de Red Eléctrica Española:

B1. Consumo final de productos petrolíferos

B2. Balance eléctrico anual nacional

B3. Estructura de generación anual nacional

B4. Generación renovable anual nacional

B5. Porcentajes de generación renovable anual nacional

B6. Intercambios internacionales físicos anuales por frontera

B7. Emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual nacional

B2. Consumo final de productos petrolíferos

Fecha Actualización: 16/01/2019

IV.4. CONSUMO FINAL DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS
Miles de toneladas (kt)

				Gasóleos							
	GLP	Gasolinas (1)	Querosenos	Gasóleos auto (2)	Gasóleo B	Gasóleo C	Otros gasóleos	Total gasóleos	Fuelóleos	Otros (3)	Total
2013	1.588	4.656	5.130	20.532	3.706	2.352	1.640	28.229	8.628	6.411	54.642
2014	1.664	4.615	5.266	20.931	3.632	2.027	1.788	28.378	8.935	5.032	53.889
2015	1.956	4.651	5.501	21.781	3.784	2.013	2.207	29.785	8.241	5.942	56.076
2016	2.509	4.759	5.894	22.515	3.911	1.855	2.046	30.327	8.563	5.990	58.041
2017	2.261	4.859	6.412	23.091	4.154	1.724	1.864	30.832	8.353	5.608	58.325
2018 (4)	2.360	4.663	6.217	21.638	3.876	1.605	1.688	28.806	7.865	5.060	54.972
2017 IV	460	1.189	1.526	5.732	1.189	550	490	7.961	2.153	1.544	14.834
2018 I	701	1.131	1.374	5.649	1.225	684	432	7.990	2.068	1.328	14.591
II	619	1.272	1.745	5.999	958	331	460	7.748	2.161	1.362	14.908
III	581	1.414	1.986	6.024	909	248	477	7.659	2.189	1.399	15.229
IV (4)	459	846	1.112	3.965	783	342	320	5.410	1.446	971	10.244
2018 Sep	187	430	632	1.880	292	75	180	2.427	751	477	4.903
Oct	211	442	620	2.032	397	152	168	2.750	711	479	5.214
Nov	248	403	491	1.933	386	190	152	2.660	735	492	5.030
				Tasas de variación interanual en %							
2013	-0,8	-5,4	-2,8	-3,3	-2,8	-13,6	18,1	-3,2	-15,1	-27,6	-8,9
2014	4,7	-0,9	2,7	1,9	-2,0	-13,8	9,0	0,5	3,6	-21,5	-1,4
2015	17,6	0,8	4,5	4,1	4,2	-0,7	23,4	5,0	-7,8	18,1	4,1
2016	28,3	2,3	7,1	3,4	3,4	-7,8	-7,3	1,8	3,9	0,8	3,5
2017	-9,9	2,1	8,8	2,6	6,2	-7,0	-8,9	1,7	-2,5	-6,4	0,5
2018 (4)	15,0	4,6	4,7	2,1	4,2	7,6	-1,6	2,4	2,6	-1,7	3,0
2017 IV	-34,4	3,2	8,1	3,1	5,4	-0,4	-1,3	2,9	0,6	-8,9	0,0
2018 I	-6,2	4,0	6,8	3,0	3,9	9,5	-0,4	3,5	6,7	-2,7	3,2
II	6,7	2,3	4,6	1,5	5,6	13,3	2,0	2,5	4,8	-0,3	2,9
III	22,5	5,7	2,9	1,0	3,5	-3,7	-2,6	0,9	-0,4	4,9	2,5
IV (4)	83,0	7,0	5,6	3,2	3,7	7,8	-6,3	2,9	-1,2	-10,4	3,5
2018 Sep	39,1	3,3	2,2	-2,0	-5,6	-12,3	2,0	-2,5	2,1	5,8	1,2
Oct	73,1	7,1	4,6	4,3	18,4	25,5	-3,4	6,6	-4,7	-13,8	4,1
Nov	92,4	6,8	6,9	2,1	-8,0	-3,1	-9,4	-0,6	2,3	-6,8	2,9

(1) Incluye gasolinas auto (95 o, 98 o, bioetanol y gasolinas mezcla), gasolina aviación y otras gasolinas
(2) Incluye gasóleo A, biodiesel y biodiesel mezcla
(3) Incluye lubricantes, productos asfálticos, coque y otros
(4) Período disponible
Fuente: CORES

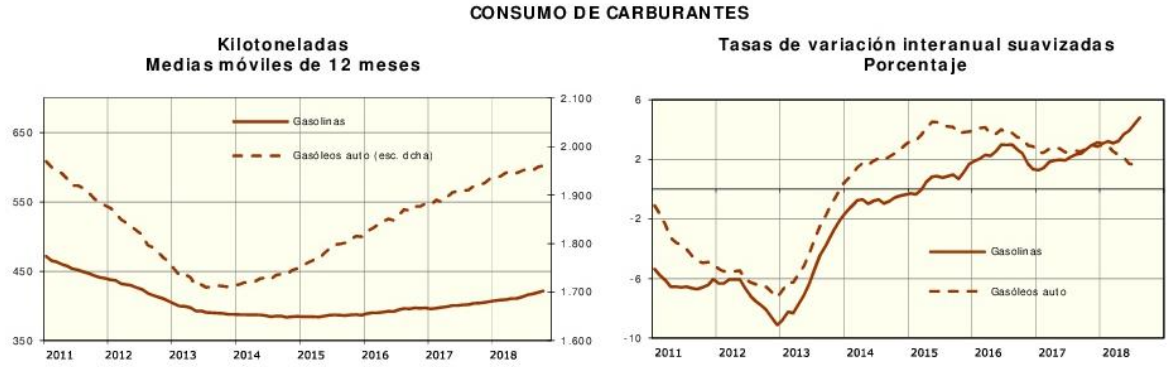


Figura 99. *Consumo de productos petrolíferos en España. (Fuente: CORES)*

B2. Balance eléctrico anual nacional

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Balance eléctrico anual nacional [1] (GWh)

Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2014-2020

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Hidráulica	39.182	28.383	36.115	18.451	34.100	-	-
Turbinación bombeo	3.416	2.895	3.134	2.249	2.009	-	-
Nuclear	54.781	54.662	56.022	55.539	53.198	-	-
Carbón	43.246	52.616	37.314	45.019	37.274	-	-
Fuel + Gas	6.242	6.484	6.755	7.002	6.683	-	-
Ciclo combinado [2]	24.781	29.027	29.006	37.066	30.045	-	-
Hidroeólica	1	8	18	20	24	-	-
Eólica	51.032	48.118	47.697	47.907	49.526	-	-
Solar fotovoltaica	8.208	8.244	7.977	8.398	7.747	-	-
Solar térmica	4.959	5.085	5.071	5.348	4.424	-	-
Térmica renovable[5]/Otras renovables	3.816	3.433	3.426	3.610	3.556	-	-
Cogeneración y resto[5]/Cogeneración	24.153	25.201	25.909	28.212	29.010	-	-
Residuos no renovables	1.966	2.480	2.607	2.608	2.437	-	-
Residuos renovables	678	818	785	877	874	-	-
Generación	**266.461**	**267.454**	**261.836**	**262.306**	**260.906**	**-**	**-**
Consumos en bombeo	-5.386	-4.512	-4.828	-3.608	-3.201	-	-
Saldo intercambios internacionales [4]	-3.406	-133	7.658	9.169	11.102	-	-
Demanda transporte (b.c.)	**257.669**	**262.808**	**264.666**	**267.867**	**268.808**	**-**	**-**

(1) Asignación de unidades de producción según combustible principal.
(2) Incluye funcionamiento en ciclo abierto.
(4) Valor positivo: saldo importador; valor negativo: saldo exportador.
(5) Hasta 2010 e incluye residuos.

Datos definitivos hasta el 28/02/2018. Datos provisionales del 01/03/2018 al 31/12/2018.

Figura 100. *Energía generada por las distintas fuentes de producción (Fuente: REE)*

B3. Estructura de generación anual nacional

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Estructura de generación anual nacional (1) (%)

Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2014-2020

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Hidráulica	14,7	10,6	13,8	7,0	13,1	-	-
Turbinación bombeo	1,3	1,1	1,2	0,9	0,8	-	-
Nuclear	20,6	20,4	21,4	21,2	20,4	-	-
Carbón	16,2	19,7	14,3	17,2	14,3	-	-
Fuel + Gas (2)	2,3	2,4	2,6	2,7	2,6	-	-
Ciclo combinado (3)	9,3	10,9	11,1	14,1	11,5	-	-
Hidroeólica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Eólica	19,2	18,0	18,2	18,3	19,0	-	-
Solar fotovoltaica	3,1	3,1	3,0	3,2	3,0	-	-
Solar térmica	1,9	1,9	1,9	2,0	1,7	-	-
Térmica renovable (4)/Otras renovables (5)	1,4	1,3	1,3	1,4	1,4	-	-
Cogeneración y resto (4)/Cogeneración	9,0	9,4	9,9	10,7	11,0	-	-
Residuos no renovables (6)	0,7	0,9	1,0	1,0	0,9	-	-
Residuos renovables (6)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-
Generación renovable (7)	**40,6**	**35,2**	**38,5**	**32,2**	**38,5**	**-**	**-**
Generación no renovable	**59,4**	**64,8**	**61,5**	**67,8**	**61,5**	**-**	**-**

(1) Asignación de unidades de producción según combustible principal.
(2) En el sistema eléctrico de Baleares y Canarias se incluye la generación con grupos auxiliares.
(3) Incluye funcionamiento en ciclo abierto. En el sistema eléctrico de Canarias utiliza gasoil como combustible principal.
(4) Incluye residuos hasta el 31/12/2010.
(5) Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.
(6) Generación incluida en otras renovables y cogeneración hasta el 31/12/2014.
(7) Incluye hidráulica, hidroeólica, eólica, solar fotovoltaica, solar térmica y térmica renovable/otras renovables y residuos renovables. No incluye la turbinación bombeo.

Figura 101. *Porcentajes de la generación anual de electricidad (Fuente: REE)*

B4. Generación renovable anual nacional

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Concepto: Generación
Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2015-2022

Generación renovable anual nacional [1] (GWh)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Hidráulica [2]	28.383	36.115	18.451	34.100	-	-	-	-
Hidroeólica	8	18	20	24	-	-	-	-
Eólica	48.118	47.697	47.907	49.526	-	-	-	-
Solar fotovoltaica	8.244	7.977	8.398	7.747	-	-	-	-
Solar térmica	5.085	5.071	5.348	4.424	-	-	-	-
Térmica renovable [3]/Otras renovables [4]	3.433	3.426	3.610	3.556	-	-	-	-
Residuos renovables [5]	818	785	877	874	-	-	-	-
Generación renovable	**94.088**	**101.089**	**84.611**	**100.251**	**-**	**-**	**-**	**-**

(1) Asignación de unidades de producción según combustible principal.
(2) No incluye la generación bombeo.
(3) Incluye residuos hasta el 31/12/2014.
(4) Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.
(5) El 50% de la generación procedente de residuos sólidos urbanos se considera renovable.
Para el año 2018 valores acumulados hasta diciembre de 2018.

Figura 102. *Energía generada por las distintas fuentes renovables de producción (Fuente: REE)*

B5. Porcentajes de generación renovable anual nacional

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Estructura de generación renovable anual nacional (1) (%)

Concepto: % Renovable
Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2015-2022

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Hidráulica (2)	10,6	13,8	7,0	13,1	-	-	-	-
Hidroeólica	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
Eólica	18,0	18,2	18,3	19,0	-	-	-	-
Solar fotovoltaica	3,1	3,0	3,2	3,0	-	-	-	-
Solar térmica	1,9	1,9	2,0	1,7	-	-	-	-
Térmica renovable (3)/Otras renovables (4)	1,3	1,3	1,4	1,4	-	-	-	-
Residuos renovables (5)	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-
Generación renovable	**35,2**	**38,5**	**32,2**	**38,5**	**-**	**-**	**-**	**-**

(1) Asignación de unidades de producción según combustible principal.
(2) No incluye la generación bombeo.
(3) Incluye residuos hasta el 31/12/2014.
(4) Otras renovables incluyen biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica.
(5) El 50% de la generación procedente de residuos sólidos urbanos se considera renovable.
Para el año 2018 valores acumulados hasta diciembre de 2018.

Figura 103. *Porcentajes de la generación anual renovable de electricidad (Fuente: REE)*

B6. Intercambios internacionales físicos anuales por frontera

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Intercambios internacionales físicos anuales por frontera (GWh)

Concepto: Intercambios por front
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2010-2019

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Entradas	Andorra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	Francia	1.983	3.987	4.911	4.879	5.963	9.131	12.135	15.564	15.514	-
	Portugal	3.189	3.930	2.871	5.323	6.345	5.811	9.702	8.190	8.324	-
	Marruecos	34	16	5	1	3	14	8	8	180	-
	Total	**5.206**	**7.932**	**7.786**	**10.204**	**12.310**	**14.956**	**21.845**	**23.763**	**24.018**	**-**
Salidas	Andorra	264	306	286	287	235	264	278	233	210	-
	Francia	3.514	2.463	3.028	3.171	2.395	1.807	4.334	3.099	3.467	-
	Portugal	5.823	6.744	10.768	8.100	7.247	8.077	4.616	5.505	5.669	-
	Marruecos	3.937	4.510	4.904	5.377	5.839	4.941	4.959	5.756	3.569	-
	Total	**13.539**	**14.023**	**18.986**	**16.936**	**15.716**	**15.089**	**14.187**	**14.594**	**12.916**	**-**
Saldo [1]	Andorra	-264	-306	-286	-287	-235	-264	-278	-233	-210	-
	Francia	-1.531	1.524	1.883	1.708	3.567	7.324	7.802	12.465	12.047	-
	Portugal	-2.634	-2.814	-7.897	-2.777	-903	-2.266	5.086	2.685	2.655	-
	Marruecos	-3.903	-4.495	-4.900	-5.376	-5.836	-4.927	-4.951	-5.748	-3.389	-
	Total	**-8.333**	**-6.090**	**-11.200**	**-6.732**	**-3.406**	**-133**	**7.658**	**9.169**	**11.102**	**-**

[1] Valor positivo: saldo importador; Valor negativo: saldo exportador.
Datos a 31 de diciembre.

Figura 104. *Importaciones y exportaciones de energía anual (Fuente:REE)*

B7. Emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual nacional

RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

Emisiones de CO_2 asociadas a la generación anual nacional

Sistema eléctrico: Nacional
Horizonte temporal: Anual
Periodo: 2015-2021

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Carbón	49.985.654	35.448.089	42.768.449	35.649.124	-	-	-	-
Fuel + Gas [1]	5.245.263	5.481.852	5.686.516	5.383.413	-	-	-	-
Ciclo combinado [2]	12.047.200	11.965.815	14.943.266	11.841.871	-	-	-	-
Térmica renovable [3]	-	-	-	-	-	-	-	-
Térmica no renovable/Cogeneración y resto/Cogeneración [3]	9.324.325	9.586.198	10.438.368	10.733.606	-	-	-	-
Residuos no renovables	595.226	625.671	625.916	584.830	-	-	-	-
Emisiones (tCO_2)	**77.197.668**	**63.107.625**	**74.462.516**	**64.192.845**	**-**	**-**	**-**	**-**
Factor de emisión de CO_2 (tCO_2/MWh)	**0,289**	**0,241**	**0,284**	**0,246**	**-**	**-**	**-**	**-**

[1] En el sistema eléctrico de Baleares y Canarias se incluye la generación con grupos auxiliares.

[2] Incluye funcionamiento en ciclo abierto. En el sistema eléctrico de Canarias utiliza gasoil como combustible principal.

[3] Incluye residuos hasta el 31/12/2010.

Figura 105. *Emisiones de CO_2 de las distintas fuentes de producción (Fuente: REE)*

Anexo C

En el anexo C se incluyen las tablas utilizadas para el conteo de ocupantes de vehículos en el trabajo de campo:

C1. Av. Meridiana 321 (8:00h)

C2. Av. Meridiana 321 (15:00h)

C3. Av. Meridiana 321 (19:00h)

C4. Av. Diagonal 440 (8:00h)

C5. Av. Diagonal 440 (15:00h)

C6. Av. Diagonal 440 (19:00h)

C1. Av. Meridiana 321 (8:00h)

Tabla 31. *Nº de ocupantes en Av. Meridiana 321 a las 8:00h*

Número de ocupantes por vehículo				Día	04/02/2019
Calle	Av. Meridiana 321			**Hora**	8:00
Particular		**45**	1	**90**	1
1	1	**46**	1	**91**	1
2	1	**47**	1	**92**	1
3	3	**48**	1	**93**	1
4	1	**49**	1	**94**	1
5	1	**50**	3	**95**	1
6	1	**51**	1	**96**	1
7	2	**52**	1	**97**	1
8	2	**53**	1	**98**	1
9	1	**54**	1	**99**	1
10	1	**55**	1	**100**	1
11	1	**56**	1	**101**	1
12	1	**57**	1	**102**	1
13	1	**58**	1	**103**	1
14	1	**59**	1	**104**	1
15	2	**60**	1	**105**	1
16	2	**61**	2	**106**	1
17	1	**62**	1	**107**	2
18	2	**63**	1	**108**	1
19	1	**64**	2	**109**	1
20	1	**65**	3	**110**	1
21	1	**66**	1	**111**	1
22	1	**67**	2	**112**	1
23	1	**68**	1	**113**	1
24	2	**69**	3	**114**	1
25	1	**70**	2	**115**	1
26	2	**71**	2	**116**	1
27	1	**72**	1	**117**	1
28	1	**73**	2	**118**	1
29	1	**74**	2	**119**	1
30	3	**75**	2	**120**	1
31	1	**76**	2	**121**	2
32	1	**77**	1	**122**	1
33	1	**78**	1	**123**	1
34	1	**79**	2	**124**	1
35	1	**80**	2	**125**	2
36	3	**81**	2	**126**	1
37	1	**82**	1	**127**	1
38	2	**83**	1	**128**	2
39	1	**84**	1	**129**	1
40	1	**85**	1	**130**	1
41	1	**86**	1	**131**	2
42	2	**87**	1	**132**	1
43	1	**88**	1	**133**	2
44	1	**89**	1	**134**	2

Tabla 32. *Nº de ocupantes en Av. Meridiana 321 a las 8:00h (Parte 2)*

135	1	**180**	1	**225**	1
136	1	**181**	1	**226**	1
137	2	**182**	1	**227**	1
138	1	**183**	3	**228**	1
139	1	**184**	2	**229**	2
140	1	**185**	1	**230**	1
141	1	**186**	1	**231**	1
142	2	**187**	1	**232**	1
143	1	**188**	2	**233**	1
144	1	**189**	2	**234**	1
145	2	**190**	1	**235**	1
146	3	**191**	1	**236**	1
147	1	**192**	1	**237**	1
148	1	**193**	1	**238**	1
149	1	**194**	1	**239**	2
150	1	**195**	1	**240**	3
151	1	**196**	2	**241**	2
152	2	**197**	1	**242**	1
153	2	**198**	1	**243**	2
154	1	**199**	1	**244**	1
155	1	**200**	1	**245**	1
156	1	**201**	1	**246**	1
157	1	**202**	2	**247**	2
158	1	**203**	1	**248**	2
159	1	**204**	1	**249**	1
160	2	**205**	1	**250**	2
161	2	**206**	2	**251**	1
162	2	**207**	1	**252**	1
163	1	**208**	1	**253**	1
164	2	**209**	1	**254**	1
165	2	**210**	1	**255**	1
166	1	**211**	1	**256**	1
167	1	**212**	2	**257**	1
168	1	**213**	3	**258**	1
169	1	**214**	1	**259**	1
170	4	**215**	1	**260**	1
171	1	**216**	2	**261**	1
172	1	**217**	1	**262**	1
173	1	**218**	4	**263**	1
174	1	**219**	2	**264**	1
175	1	**220**	2	**265**	1
176	1	**221**	1	**266**	1
177	1	**222**	2	**267**	1
178	3	**223**	1	**268**	1
179	2	**224**	2		0

C2. Av. Meridiana 321 (15:00h)

Tabla 33. *Nº de ocupantes en Av. Meridiana 321 a las 15:00h*

Número de ocupantes por vehículo				Día	13/02/2019
Calle	Av. Meridiana 321			Hora	15:00
Particular		45	2	90	2
1	1	46	1	91	2
2	1	47	2	92	1
3	1	48	1	93	1
4	1	49	1	94	2
5	1	50	1	95	1
6	1	51	1	96	2
7	2	52	1	97	1
8	1	53	3	98	1
9	2	54	1	99	1
10	2	55	2	100	2
11	1	56	1	101	2
12	1	57	1	102	1
13	1	58	2	103	1
14	2	59	1	104	1
15	1	60	1	105	1
16	1	61	1	106	1
17	1	62	1	107	2
18	1	63	1	108	1
19	1	64	1	109	2
20	2	65	1	110	1
21	1	66	1	111	2
22	1	67	2	112	1
23	1	68	1	113	2
24	2	69	1	114	2
25	1	70	1	115	1
26	2	71	2	116	2
27	1	72	1	117	2
28	1	73	2	118	1
29	1	74	2	119	1
30	1	75	2	120	1
31	2	76	1	121	2
32	1	77	1	122	1
33	2	78	1	123	1
34	1	79	1	124	1
35	1	80	2	125	1
36	1	81	2	126	3
37	1	82	1	127	2
38	1	83	1	128	1
39	1	84	1	129	1
40	2	85	1	130	1
41	1	86	2	131	1
42	2	87	2	132	2
43	1	88	1	133	1
44	1	89	1	134	2

Tabla 34. *Nº de ocupantes en Av. Meridiana 321 a las 15:00h (parte 2)*

135	2	**180**	1	**225**	1
136	1	**181**	1	**226**	2
137	1	**182**	1	**227**	1
138	2	**183**	1	**228**	2
139	3	**184**	2	**229**	1
140	1	**185**	2	**230**	1
141	1	**186**	1	**231**	2
142	2	**187**	1	**232**	2
143	1	**188**	1	**233**	1
144	2	**189**	1	**234**	1
145	1	**190**	1	**235**	1
146	2	**191**	2	**236**	2
147	2	**192**	2	**237**	2
148	1	**193**	1	**238**	2
149	3	**194**	1	**239**	1
150	1	**195**	1	**240**	1
151	2	**196**	1	**241**	1
152	2	**197**	1	**242**	1
153	1	**198**	2	**243**	1
154	2	**199**	1	**244**	1
155	1	**200**	2	**245**	1
156	3	**201**	2	**246**	1
157	1	**202**	1	**247**	1
158	1	**203**	1	**248**	1
159	1	**204**	1	**249**	1
160	1	**205**	1	**250**	3
161	2	**206**	1	**251**	3
162	1	**207**	2	**252**	2
163	2	**208**	1	**253**	1
164	1	**209**	2	**254**	1
165	2	**210**	1	**255**	1
166	1	**211**	1	**256**	1
167	1	**212**	1	**257**	4
168	2	**213**	1	**258**	1
169	1	**214**	3	**259**	1
170	1	**215**	3	**260**	2
171	1	**216**	1	**261**	3
172	2	**217**	1	**262**	1
173	1	**218**	1	**263**	2
174	1	**219**	1	**264**	2
175	1	**220**	1	**265**	2
176	1	**221**	2	**266**	1
177	2	**222**	3	**267**	1
178	2	**223**	1	**268**	1
179	2	**224**	1		

C3. Av. Meridiana 321 (19:00h)

Tabla 35. *Nº de ocupantes en Av. Meridiana 321 a las 19:00h*

Número de ocupantes por vehículo				Día	12/02/2019
Calle	Av. Meridiana 321			Hora	19:00
Particular		45	1	90	2
1	2	46	1	91	1
2	2	47	1	92	1
3	2	48	2	93	1
4	1	49	3	94	1
5	1	50	1	95	2
6	2	51	1	96	2
7	1	52	1	97	1
8	2	53	2	98	1
9	1	54	1	99	3
10	1	55	1	100	2
11	1	56	1	101	2
12	1	57	1	102	3
13	2	58	1	103	2
14	2	59	1	104	1
15	1	60	1	105	2
16	1	61	2	106	1
17	1	62	1	107	1
18	1	63	1	108	1
19	1	64	2	109	1
20	1	65	1	110	1
21	1	66	2	111	1
22	2	67	2	112	1
23	3	68	1	113	1
24	3	69	3	114	1
25	2	70	2	115	1
26	2	71	1	116	1
27	1	72	4	117	1
28	1	73	1	118	2
29	1	74	3	119	1
30	2	75	2	120	1
31	2	76	2	121	2
32	1	77	2	122	1
33	1	78	1	123	1
34	3	79	1	124	1
35	1	80	1	125	1
36	1	81	1	126	1
37	1	82	2	127	1
38	1	83	2	128	2
39	2	84	1	129	1
40	1	85	1	130	1
41	3	86	2	131	1
42	1	87	1	132	1
43	2	88	2	133	2
44	1	89	2	134	1

Tabla 36. *Nº de ocupantes en Av. Meridiana 321 a las 19:00h (parte 2)*

135	1	**180**	2	**225**	1
136	1	**181**	2	**226**	2
137	3	**182**	1	**227**	2
138	1	**183**	1	**228**	2
139	2	**184**	2	**229**	3
140	1	**185**	1	**230**	1
141	1	**186**	1	**231**	4
142	1	**187**	1	**232**	1
143	1	**188**	1	**233**	1
144	2	**189**	1	**234**	1
145	2	**190**	1	**235**	1
146	1	**191**	2	**236**	1
147	1	**192**	2	**237**	4
148	2	**193**	1	**238**	3
149	1	**194**	1	**239**	1
150	1	**195**	2	**240**	2
151	1	**196**	2	**241**	4
152	1	**197**	1	**242**	4
153	1	**198**	1	**243**	1
154	1	**199**	2	**244**	2
155	1	**200**	1	**245**	5
156	1	**201**	1	**246**	2
157	1	**202**	1	**247**	2
158	1	**203**	2	**248**	1
159	1	**204**	2	**249**	1
160	2	**205**	1	**250**	1
161	2	**206**	1	**251**	1
162	2	**207**	3	**252**	1
163	1	**208**	1	**253**	2
164	2	**209**	2	**254**	2
165	2	**210**	2	**255**	1
166	3	**211**	1	**256**	2
167	1	**212**	2	**257**	1
168	2	**213**	1	**258**	2
169	1	**214**	1	**259**	2
170	1	**215**	1	**260**	3
171	1	**216**	2	**261**	1
172	1	**217**	2	**262**	1
173	1	**218**	1	**263**	1
174	1	**219**	2	**264**	1
175	2	**220**	1	**265**	1
176	2	**221**	1	**266**	1
177	1	**222**	1	**267**	1
178	1	**223**	1	**268**	1
179	1	**224**	2		0

C4. Av. Diagonal 440 (8:00h)

Tabla 37. *Nº de ocupantes en Av. Diagonal 440 a las 8:00h*

Número de ocupantes por vehículo				Día	13/02/2019
Calle	Diagonal 440			Hora	8:00
Particular		45	1	90	1
1	3	46	2	91	1
2	1	47	1	92	2
3	1	48	1	93	2
4	1	49	1	94	2
5	1	50	3	95	1
6	1	51	1	96	3
7	2	52	1	97	1
8	1	53	1	98	1
9	1	54	2	99	1
10	2	55	4	100	2
11	2	56	1	101	2
12	1	57	1	102	4
13	2	58	3	103	2
14	1	59	1	104	1
15	1	60	1	105	1
16	1	61	1	106	1
17	1	62	1	107	1
18	1	63	1	108	1
19	1	64	1	109	1
20	1	65	2	110	1
21	1	66	1	111	2
22	3	67	1	112	1
23	4	68	1	113	1
24	1	69	2	114	1
25	2	70	2	115	1
26	1	71	1	116	1
27	1	72	1	117	3
28	1	73	3	118	1
29	1	74	1	119	1
30	2	75	1	120	1
31	1	76	1	121	1
32	1	77	1	122	2
33	1	78	1	123	2
34	1	79	1	124	1
35	1	80	1	125	1
36	1	81	1	126	1
37	3	82	1	127	1
38	2	83	1	128	1
39	2	84	3	129	1
40	1	85	1	130	1
41	1	86	1	131	1
42	1	87	2	132	1
43	1	88	2	133	1
44	1	89	2	134	1

Tabla 38. *Nº de ocupantes en Av. Diagonal 440 a las 8:00h (parte 2)*

135	4	180	2	225	2
136	2	181	2	226	2
137	2	182	1	227	2
138	1	183	1	228	1
139	1	184	1	229	1
140	1	185	1	230	2
141	1	186	1	231	1
142	1	187	1	232	1
143	1	188	1	233	1
144	1	189	1	234	3
145	1	190	3	235	1
146	1	191	1	236	2
147	1	192	2	237	1
148	3	193	1	238	3
149	2	194	1	239	4
150	3	195	2	240	1
151	1	196	4	241	1
152	1	197	4	242	1
153	1	198	1	243	1
154	2	199	1	244	1
155	2	200	1	245	2
156	1	201	1	246	1
157	1	202	2	247	1
158	1	203	1	248	1
159	1	204	1	249	1
160	1	205	1	250	1
161	2	206	2	251	1
162	1	207	2	252	1
163	3	208	1	253	1
164	1	209	1	254	1
165	1	210	1	255	2
166	1	211	1	256	2
167	1	212	1	257	2
168	1	213	1	258	4
169	1	214	1	259	1
170	1	215	1	260	1
171	4	216	1	261	1
172	1	217	1	262	1
173	1	218	2	263	1
174	1	219	3	264	1
175	2	220	2	265	1
176	2	221	1	266	1
177	4	222	1	267	2
178	1	223	1	268	2
179	2	224	1		

C5. Av. Diagonal 440 (15:00h)

Tabla 39. *Nº de ocupantes en Av. Diagonal 440 a las 15:00h*

Número de ocupantes por vehículo				Día	04/02/2019
Calle	Diagonal 440			Hora	15:00
Particular		45	1	90	2
1	1	46	2	91	1
2	1	47	1	92	1
3	1	48	2	93	1
4	1	49	1	94	1
5	2	50	1	95	1
6	2	51	1	96	1
7	2	52	1	97	1
8	2	53	1	98	4
9	1	54	3	99	1
10	2	55	2	100	1
11	1	56	1	101	3
12	1	57	1	102	2
13	1	58	1	103	2
14	1	59	1	104	2
15	1	60	1	105	1
16	1	61	2	106	1
17	3	62	2	107	1
18	3	63	2	108	1
19	2	64	4	109	1
20	1	65	1	110	2
21	1	66	1	111	1
22	5	67	3	112	1
23	4	68	1	113	1
24	2	69	1	114	1
25	1	70	1	115	1
26	1	71	1	116	1
27	1	72	1	117	2
28	1	73	2	118	1
29	1	74	1	119	1
30	1	75	2	120	1
31	2	76	2	121	3
32	2	77	2	122	1
33	1	78	4	123	2
34	1	79	1	124	1
35	1	80	1	125	1
36	1	81	1	126	1
37	1	82	1	127	1
38	1	83	1	128	1
39	1	84	1	129	1
40	1	85	2	130	2
41	1	86	1	131	2
42	2	87	3	132	1
43	1	88	2	133	1
44	1	89	2	134	1

Tabla 40. *Nº de ocupantes en Av. Diagonal 440 a las 15:00h (parte 2)*

135	2	**180**	1	**225**	1
136	2	**181**	1	**226**	1
137	2	**182**	1	**227**	2
138	1	**183**	2	**228**	1
139	1	**184**	2	**229**	1
140	1	**185**	4	**230**	1
141	1	**186**	2	**231**	1
142	1	**187**	1	**232**	1
143	1	**188**	1	**233**	3
144	3	**189**	1	**234**	1
145	1	**190**	1	**235**	1
146	1	**191**	1	**236**	1
147	1	**192**	3	**237**	3
148	1	**193**	1	**238**	3
149	2	**194**	1	**239**	1
150	2	**195**	1	**240**	1
151	2	**196**	1	**241**	4
152	1	**197**	1	**242**	1
153	2	**198**	1	**243**	1
154	2	**199**	1	**244**	1
155	1	**200**	1	**245**	1
156	1	**201**	1	**246**	1
157	1	**202**	1	**247**	1
158	1	**203**	2	**248**	1
159	3	**204**	1	**249**	2
160	3	**205**	1	**250**	2
161	1	**206**	2	**251**	2
162	1	**207**	2	**252**	1
163	1	**208**	2	**253**	2
164	1	**209**	1	**254**	1
165	4	**210**	1	**255**	1
166	1	**211**	2	**256**	1
167	1	**212**	1	**257**	1
168	1	**213**	1	**258**	1
169	2	**214**	1	**259**	1
170	2	**215**	1	**260**	1
171	1	**216**	1	**261**	1
172	1	**217**	1	**262**	1
173	1	**218**	2	**263**	1
174	1	**219**	2	**264**	3
175	1	**220**	2	**265**	1
176	1	**221**	1	**266**	1
177	2	**222**	3	**267**	1
178	1	**223**	1	**268**	1
179	1	**224**	1		

C6. Av. Diagonal 440 (19:00h)

Tabla 41. *Nº de ocupantes en Av. Diagonal 440 a las 19:00h*

Número de ocupantes por vehículo				Día	07/02/2019
Calle	Diagonal 440			Hora	19:00
Particular		45	1	90	3
1	2	46	1	91	3
2	2	47	1	92	1
3	1	48	1	93	1
4	1	49	1	94	1
5	1	50	2	95	1
6	1	51	2	96	2
7	1	52	1	97	1
8	1	53	2	98	1
9	1	54	3	99	2
10	1	55	1	100	1
11	1	56	1	101	1
12	2	57	1	102	1
13	1	58	1	103	1
14	1	59	4	104	2
15	1	60	1	105	2
16	1	61	1	106	1
17	1	62	1	107	1
18	3	63	1	108	1
19	1	64	1	109	1
20	1	65	2	110	4
21	1	66	2	111	1
22	2	67	1	112	1
23	2	68	2	113	1
24	1	69	1	114	2
25	2	70	1	115	1
26	2	71	1	116	1
27	1	72	1	117	1
28	2	73	1	118	1
29	1	74	3	119	2
30	1	75	3	120	1
31	1	76	1	121	1
32	1	77	1	122	2
33	1	78	2	123	2
34	1	79	1	124	1
35	1	80	1	125	1
36	3	81	2	126	1
37	3	82	2	127	1
38	1	83	1	128	1
39	2	84	1	129	2
40	2	85	1	130	1
41	1	86	1	131	3
42	2	87	2	132	1
43	1	88	1	133	1
44	1	89	1	134	2

Tabla 42. *Nº de ocupantes en Av. Diagonal 440 a las 19:00h (parte 2)*

135	1	**180**	1	**225**	2
136	1	**181**	1	**226**	1
137	1	**182**	2	**227**	1
138	1	**183**	1	**228**	1
139	1	**184**	1	**229**	1
140	2	**185**	1	**230**	2
141	2	**186**	3	**231**	1
142	1	**187**	1	**232**	1
143	2	**188**	1	**233**	3
144	1	**189**	1	**234**	1
145	1	**190**	2	**235**	1
146	1	**191**	2	**236**	1
147	3	**192**	1	**237**	1
148	1	**193**	1	**238**	2
149	1	**194**	1	**239**	1
150	1	**195**	2	**240**	1
151	1	**196**	1	**241**	1
152	1	**197**	1	**242**	1
153	2	**198**	1	**243**	1
154	1	**199**	1	**244**	1
155	1	**200**	1	**245**	1
156	1	**201**	1	**246**	1
157	1	**202**	1	**247**	1
158	2	**203**	2	**248**	1
159	1	**204**	1	**249**	2
160	1	**205**	1	**250**	1
161	2	**206**	2	**251**	3
162	2	**207**	3	**252**	1
163	2	**208**	1	**253**	1
164	1	**209**	1	**254**	2
165	1	**210**	1	**255**	2
166	1	**211**	4	**256**	1
167	1	**212**	1	**257**	2
168	1	**213**	1	**258**	2
169	4	**214**	1	**259**	2
170	4	**215**	2	**260**	1
171	1	**216**	1	**261**	1
172	1	**217**	1	**262**	3
173	1	**218**	1	**263**	1
174	1	**219**	2	**264**	2
175	1	**220**	1	**265**	2
176	1	**221**	1	**266**	1
177	2	**222**	2	**267**	1
178	1	**223**	2	**268**	1
179	1	**224**	2		